

โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล สำหรับโครงข่ายแอตฮอกในยานพาหนะ
โดยใช้โหนดข้างถนนประมวลข้อมูลการจราจรแบบกระจาย



นางสาวศศิธรมย์ เทียนน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

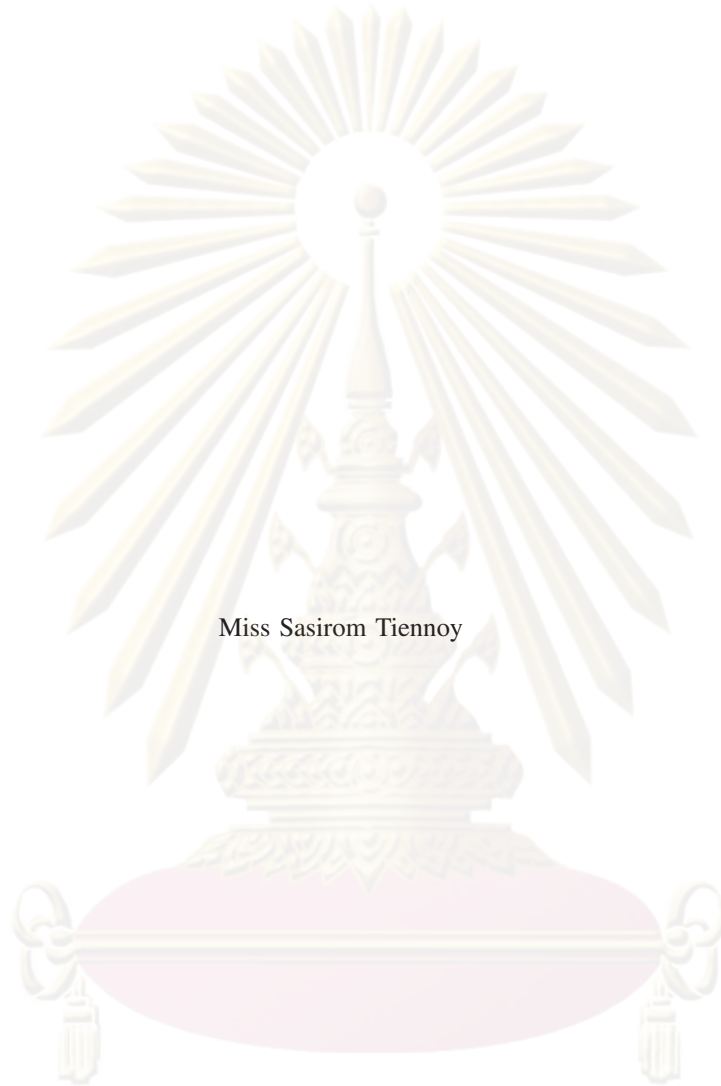
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DATA DISSEMINATION PROTOCOL FOR VEHICULAR AD HOC NETWORKS BY UTILIZING
DISTRIBUTED ROADSIDE TRAFFIC INFORMATION PROCESSING NODES



Miss Sasirom Tiennoy

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล สำหรับโครงข่ายแอตตอกในยานพาหนะ
โดยใช้เน็ตเวิร์กถนนประมวลผลการจราจรแบบกระจาย

โดย

นางสาวศศิธรณ์ เทียนน้อย

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล)

ประธานกรรมการสอบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เซาว์นติศ อัครกุล)

กรรมการ

(ดร. วสันต์ ภัทรอธิคม)

กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยุโทรคมนาคม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

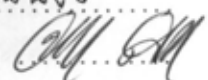
ศศิรมย์ เทียนน้อย: โพรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล สำหรับโครงข่ายแอตฮอกในยานพาหนะ โดยใช้ โหนดข้างถนนประมวลข้อมูลการจราจรแบบกระจาย (Data Dissemination Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks by Utilizing Distributed Roadside Traffic Information Processing Nodes), อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, 69 หน้า

ในปัจจุบันนั้นโครงข่ายแอตฮอก นำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการขนส่งมวลชน เรียกว่าโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะด้วยกันเอง และการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดข้างถนนที่เชื่อมต่อกับศูนย์กลางการจัดการควบคุมจราจรกับยานพาหนะ เพื่อเป็นการเตือนภัยล่วงหน้าในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนถึงจุดเกิดเหตุหรือในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการขับขี่ยานพาหนะ จากปัญหาที่ผ่านมามีพบว่า การติดต่อสื่อสารในสภาวะที่มียานพาหนะเบาบางบนท้องถนน ทำให้ยานพาหนะไม่สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะด้วยกันเองได้ ข้อมูลการจราจรในพื้นที่นี้ อาจเกิดการสูญหายของข้อมูล และค่าอัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จมีค่าน้อย เมื่อพิจารณากรณีการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดข้างถนนกับยานพาหนะ ซึ่งโหนดข้างถนนจะรับข้อมูลการจราจรมาจากศูนย์กลางการจัดการควบคุมจราจร จากการประมวลผลของอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้ง เช่น กล้องวงจรปิด อุปกรณ์ตรวจจับรถยนต์ เป็นต้น ทำให้การลงทุนและการบำรุงรักษา มีค่าใช้จ่ายที่สูง

จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์นี้ คือ พัฒนาโพรโตคอลการสื่อสารของยานพาหนะ โดยติดตั้งโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ ซึ่งโหนดข้างถนนนี้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าสู่ศูนย์กลาง ทำหน้าที่รับข้อมูลจากยานพาหนะและประมวลผลข้อมูลที่รวบรวมได้จากยานพาหนะส่งไปยังยานพาหนะอื่นๆ ทำให้อานพาหนะสามารถรับรู้ข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นบนท้องถนนได้เลย ไม่ต้องรอข้อมูลจากศูนย์กลาง อีกทั้ง ในสภาวะที่มียานพาหนะบนท้องถนนเบาบาง โพรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้จะช่วยป้องกันข้อมูลการจราจรสูญหาย ช่วยเพิ่มอัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จ และมีค่าการกระจายข้อมูลโดยรวมของระบบมีค่าลดลงอีกด้วย ในการสร้างระบบจำลองได้ใช้โปรแกรม NS-2 เพื่อประเมินสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารข้อมูลการจราจรจากการออกแบบโพรโตคอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต ศศิรมย์ เทียนน้อย
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 

##4970595521: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: VEHICULAR AD-HOC NETWORKS/ TRAFFIC INFORMATION/ DATA DISSEMINATION

SASIROM TIENNOY: DATA DISSEMINATION PROTOCOL FOR VEHICULAR AD HOC NETWORKS BY UTILIZING DISTRIBUTED ROADSIDE TRAFFIC INFORMATION PROCESSING NODES. THESIS ADVISOR: CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 69 pp.

Nowadays, the vehicular ad-hoc network is widely used in the transportation system. With this technology applied, the communication among the vehicles or between vehicle and the road-side unit can make it possible for drivers to be informed about the accident or an inappropriate environment prior to driving near that area. From the previous researches, the communication when the road has low traffic density, i.e. few cars on the road, may lead to the loss of traffic information and also decrease the data received ratio. In the case of communicating between vehicles and road-side unit, the collected data must be processed via the Traffic Management Centers (TMC)(centralized manner) before the road-side unit receives from CCTV, Loop Detector and sends the processed information back to the vehicles. The drawback of this ; it requires lots of investment due to the number of road-side unit constructed and their maintenance cost.

The objective of this thesis is to improve the efficiency of the protocol used for communicating among vehicles by applying the road-side unit into the system. By not connecting them in the centralized-communication style, the road-side units themselves will receive the data from the vehicles and process that collected data to other vehicles in order to let the driver learn about the traffic situation. For this reason, the drivers will not have to wait for the information from the centre. This kind of communication can also prevent the lost of traffic information when the road has low traffic density. Moreover, it can increase the data received ratio and decrease the total dissemination time. In the experiment, we used NS-2 to test the performance of the traffic communication applied by the designed protocol.

Department: Electrical Engineering
 Field of study: Electrical Engineering
 Academic year: 2009

Student's signature ศศิธรณ์ชัย เกตุขจรณ์ชัย
 Advisor's signature Chaiyachet Saivichit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยทั้งทางตรงและทางอ้อม ให้คำแนะนำต่างๆ รวมไปถึงคำวิจารณ์ในเชิงสร้างสรรค์ ตลอดจนความเมตตา และเอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จิตะพันธ์กุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขาวินิต อิศวกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. วสันต์ ภัทรอริคม กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอกมหาวิทยาลัยที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ต้องขอขอบคุณความคิดเห็นดีๆ รวมทั้งข้อเสนอแนะในมุมมองที่แตกต่าง กำลังใจ และแรงสนับสนุนจากพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน อาทิ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและเพิ่มคุณค่าในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการสละเวลาช่วยขัดเกลาและตรวจแก้ผลงานวิจัยจาก อาจารย์ภัทรชาติ พีมีงค์ ตี๋ ตู๋ เบิร์ต แพท ปอ เป้ บวร สัญ ไนซ์ ขวัญ บุญเอื้อ เป็นต้น และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในแลบที่ไม่ได้กล่าวถึงนอกจากนี้ยังได้รับโอกาสในการฝึกฝนวิธีการนำเสนอผลงานในรูปแบบภาษาไทยและภาษาอังกฤษ อีกทั้งได้ร่วมกันแสดงความคิดเห็นจากอาจารย์และเพื่อนๆ ในกลุ่มสัมมนากลุ่มเน็ตเวิร์ก (Network group) โดย ผศ.ดร.เขาวินิต และ ผศ.ดร.ชัยเชษฐ์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นใจและความกล้าแสดงความคิดเห็นในเชิงวิชาการมากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ตลอดเวลา รวมทั้งให้โอกาสผู้วิจัย ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมาบัดนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างๆ ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

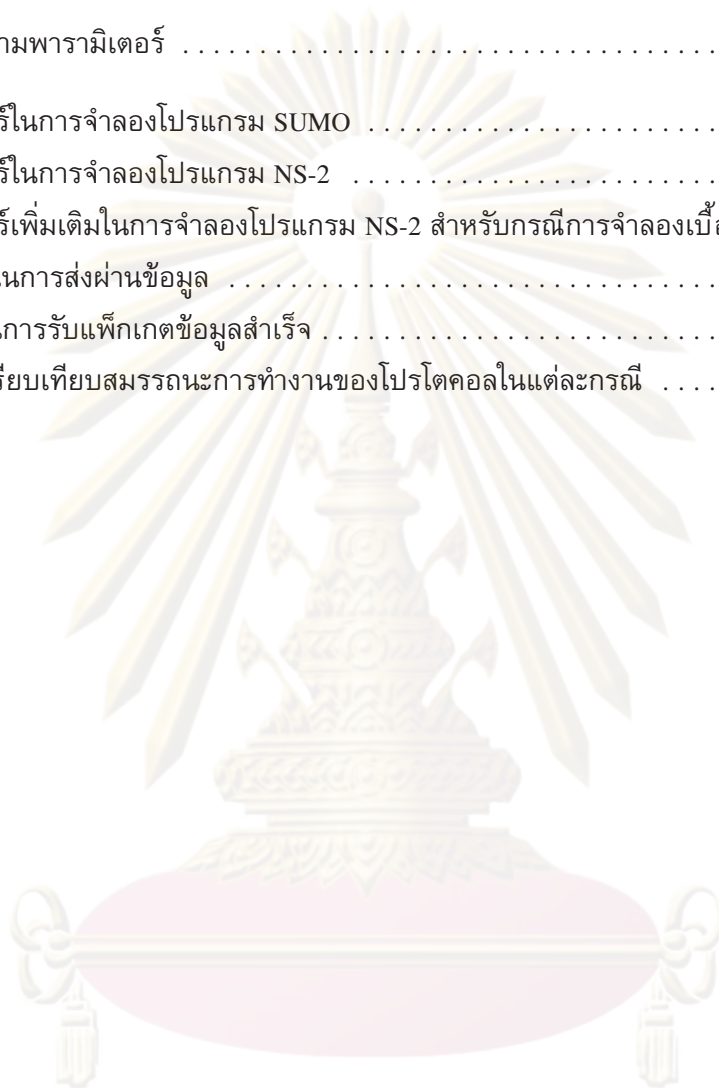
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์	4
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.7เค้าโครงวิทยานิพนธ์	6
2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 โครงข่ายแอดฮอก (Ad hoc network)	7
2.1.1 คุณสมบัติของโครงข่ายแบบแอดฮอก(Characteristics of Ad Hoc Network)	7
2.1.2 โครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ (Vehicular Ad-Hoc Network หรือ VANET)	8
2.2 การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแอดฮอก.....	9
2.3 กลยุทธ์การหาเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอก	13
2.4 แบบจำลองการเคลื่อนที่ในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ	17
2.4.1 Random Walk.....	17
2.4.2 Random Waypoint	19
2.4.3 แบบจำลองของการเดินทาง (Car following model)	19
2.5 สรุป	22
3 โปรโตคอลที่นำเสนอ.....	23

บทที่	หน้า
3.1 โครงสร้างของระบบ	23
3.1.1 นิยามคุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่ใช้	23
3.1.2 กระบวนการเก็บข้อมูลของโหนดข้างถนน	24
3.1.3 กระบวนการการส่งผ่านข้อมูลการจราจร	25
3.2 กระบวนการทำงานของโปรโตคอล	25
3.2.1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของระบบ	25
3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล	27
3.3 สรุป	34
4 สภาพแวดล้อมของการจำลอง ผลการจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ	36
4.1 สภาพแวดล้อมของการจำลอง (Simulation Environment)	36
4.1.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทดสอบ	37
4.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล	37
4.2 ทอพอโลยีที่ใช้ในการทดสอบ	39
4.3 ผลการทดสอบของโปรโตคอลที่นำเสนอ	40
4.3.1 การจำลองเบื้องต้น	40
4.3.2 โครงสร้างแบบจำลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนโหนดในระบบ	42
4.3.3 โครงสร้างแบบจำลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของกลุ่มข้อมูล	50
4.4 สรุป	55
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	56
5.1 บทสรุป	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
รายการอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	69

สารบัญตาราง

หน้า

3.1 ตารางนิยามพารามิเตอร์	27
4.1 พาราเตอร์ในการจำลองโปรแกรม SUMO	37
4.2 พาราเตอร์ในการจำลองโปรแกรม NS-2	38
4.3 พาราเตอร์เพิ่มเติมในการจำลองโปรแกรม NS-2 สำหรับกรณีการจำลองเบื้องต้น	41
4.4 เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล	41
4.5 อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ	42
4.6 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโปรโตคอลในแต่ละกรณี	53



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

หน้า

1.1	การส่งต่อข้อมูล	3
1.2	รูปแบบการกระจายข้อมูล	4
2.1	โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สายแบบมีสถานีฐานและไม่มีสถานีฐาน	7
2.2	การสื่อสารแบบหลายช่วงเชื่อมต่อ (Multi-hop communication)	8
2.3	กลไกการเข้าใช้ตัวกลางของ IEEE 802.11	10
2.4	ปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่มองเห็น	11
2.5	ตัวอย่างการเข้าถึงช่องสัญญาณในมาตรฐาน IEEE802.11 แบบ DCF	12
2.6	การเพิ่มแบบ Exponential ของ contention window (CW)	13
2.7	ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลยุทธ์ AODV	15
2.8	รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ	18
2.9	รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ (ระยะทางคงที่)	18
2.10	รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Waypoint	19
3.1	รูปแบบของโครงสร้าง	24
3.2	โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโนดข้างถนนและยานพาหนะ	26
3.3	แสดงรัศมีการสื่อสารข้อมูลของโปรโตคอลระหว่างโนดข้างถนนและยานพาหนะ	26
3.4	แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนดข้างถนน	28
3.5	แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนด(ยานพาหนะ)	29
3.6	แผนผังลำดับเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ต("recv")	30
3.7	แผนผังลำดับเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ต("recvBroadcastBase")	31
3.8	แผนผังลำดับเมื่อโนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอจากโนดข้างถนน ("recvPoll")	32
3.9	แผนผังลำดับเมื่อโนดรับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลของยานพาหนะ ("recvReport")	33
3.10	แผนผังลำดับเมื่อโนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจร ("recvRequest")	33
3.11	แผนผังลำดับเมื่อโนดรับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลการจราจร ("recvReply")	34
3.12	แผนผังลำดับแสดงกระบวนการในการส่งต่อของโปรโตคอลการส่งผ่าน ("forward") ของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล	35
4.1	แสดงการจำลองของระบบ	37
4.2	แบบจำลองเมื่อไม่มีโนดข้างถนนเพิ่มเข้ามาในระบบ แบบ 1 ช่องการเดิน และ 2 ช่องการเดิน	40
4.3	แบบจำลองเมื่อมีโนดข้างถนนเพิ่มเข้ามาในระบบ แบบ 1 ช่องการเดิน และ 2 ช่องการเดิน .	40
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและจำนวนโนด	42

บทที่ 1

บทนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้ปรับเปลี่ยนและพัฒนาไปอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาของสื่อที่ใช้ในการสื่อสารหรือกระบวนการและวิธีการของการรับส่งข่าวสาร ซึ่งการพัฒนาศักยภาพของโครงข่ายเป็นหัวข้อที่นักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญให้ความสนใจเป็นอย่างมาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนารูปแบบ และวิธีการซึ่งมีส่วนช่วยพัฒนาโครงข่ายโทรคมนาคมให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่นำมาศึกษา จากนั้นได้เสนอแนวทางของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมถึงไปถึงขั้นตอนดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ตลอดจนความต้องการของผู้ใช้งานที่มีมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของการสื่อสารไร้สายออกมาเป็นจำนวนมากและหลากหลายชนิด โดยเฉพาะการสื่อสารแบบโครงข่ายแอดฮอค (Ad Hoc Network) ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจทางด้านงานวิจัย ซึ่งโครงข่ายแอดฮอคนั้นจะมีการติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางหรือจุดเข้าถึง (Access Point) อย่างไรก็ตาม เมื่อคุณโหนดที่ต้องการสื่อสารกัน มีระยะการสื่อสารกับโหนดที่อยู่เกินระยะของการส่งข้อมูลของโหนด การสื่อสารมีความจำเป็นต้องอาศัยโหนดระหว่างทาง (Intermediate node) ในการถ่ายทอดข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

ในอดีตที่ผ่านมาโครงข่ายแอดฮอค ส่วนใหญ่ได้ถูกนำไปใช้ในด้านการทหาร เนื่องจากในสนามรบนั้น การวางโครงข่ายที่เป็นแบบศูนย์กลาง หรือ โครงข่ายแบบเซลล์ูลาร์มีความยากลำบาก อีกทั้งอุปกรณ์การสื่อสารมีความเสี่ยงต่อการถูกทำลาย เมื่อพิจารณาในส่วนของความน่าเชื่อถือของโครงข่ายแล้วก็ไม่มีความปลอดภัยอีกด้วย ส่วนในปัจจุบันนั้น โครงข่ายแอดฮอคถูกนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์มากขึ้น เนื่องมาจากโครงข่ายแอดฮอคมี่ความสะดวกสบายในการพกพาและการติดตั้งอุปกรณ์ไม่มีความยุ่งยากเหมือนกับในโครงข่ายแบบศูนย์กลาง มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน เช่น การขนส่งมวลชน

ระบบการขนส่งมวลชนได้พัฒนาระบบการจัดการจราจรอัจฉริยะ (ITS or Intelligent Transportation System) เพื่อให้บริการด้านข้อมูลการจราจรกับประชาชน ยกตัวอย่างเช่น ในประเทศญี่ปุ่นที่มีการให้บริการ VICS (Vehicle information and Communication System Center) หรือระบบสื่อสารและให้ข้อมูลการจราจร [1] ซึ่งเป็นการรายงานข้อมูลสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น จากการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์บนรถกับถนน โดยมีเสาอากาศติดตั้งอยู่ริมถนนหรือตามเสาไฟฟ้า ใช้ในการถ่ายทอดสภาพการจราจร ซึ่งรับสัญญาณมาจากเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่ตามผิวจราจร เมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่านเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์จะทำการ

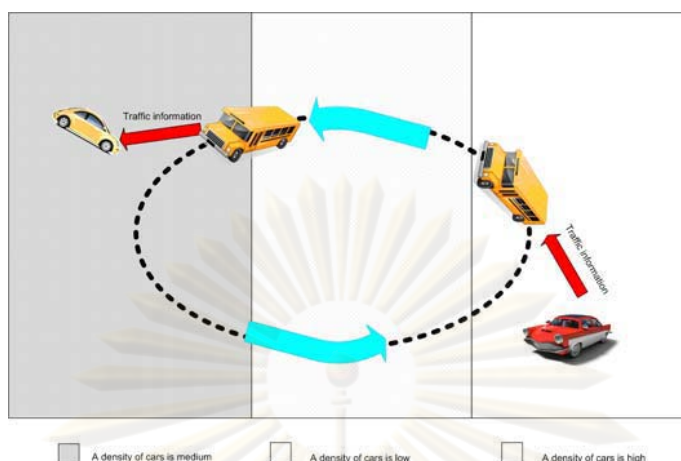
ส่งข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลและวิเคราะห์สภาพการจราจร เพื่อแจ้งต่อให้กับผู้ใช้งานพาหนะ ซึ่งติดตั้งเครื่องระบบนำร่อง ที่รับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส และแผนที่ดิจิทัล ของท้องถนนในเขตเมือง อย่างไรก็ตาม ระบบ VICS มีประโยชน์ในการให้ข้อมูลอย่างมาก เมื่อพิจารณาการทำงานแล้ว จะเห็นได้ว่าระบบมีการใช้อุปกรณ์และงบประมาณในการลงทุนสูงมาก แล้วยังเกิดช่องว่างเล็กน้อยในการรับข้อมูล มีความสำคัญในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ อีกทั้งถ้ารถทุกคนได้รับข้อมูลในการเลือกเส้นทางในเวลาเดียวกันแล้ว ทำให้เกิดการตัดสินใจที่มุ่งหน้าไปยังเส้นทางที่แนะนำ เส้นทางนั้นก็เกิดการคับคั่งได้ ซึ่งการใช้การติดต่อสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะ ที่เรียกว่าระบบโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ (Vehicular Ad-Hoc Network or VANET) เป็นการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันระหว่างยานพาหนะ หรือระหว่างยานพาหนะกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ได้กล่าวมา

ดังนั้นในส่วนของการพัฒนาโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ เพื่อช่วยในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบเตือนภัยล่วงหน้าในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนถึงจุดเกิดเหตุ หรือภาวะแวดล้อมไม่ดี เช่น เมื่อมีหมอกลงจัด, ฝนตกหนัก จนผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นชัดเจนจากระยะไกล ทำให้การตัดสินใจควบคุมยานพาหนะนั้น ทำได้ยากขึ้น หรือการจราจรในตัวเมืองขนาดใหญ่ มีสภาพการจราจรที่คับคั่งและไม่สามารถคาดการณ์ข้อมูลการจราจรได้ สำหรับการตัดสินใจในการเดินทางที่ถูกต้องมีประโยชน์มาก เมื่อผู้ขับขี่มีความต้องการเดินทางสู่จุดหมายปลายทางหนึ่งๆ และต้องการทราบข้อมูลในระหว่างการเดินทาง ณ ทางแยกทุกแยก ถนนทุกสายที่ผ่าน ไปสู่จุดหมายปลายทาง

ในส่วนของการแลกเปลี่ยนข้อมูลการจราจรนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา งานวิจัยที่ [2, 3] มีการใช้โปรโตคอลการสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะ (Inter-Vehicle Communication) โดยมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ณ เวลาจริงแบบหลายช่วงโนด งานวิจัยที่ [4] ได้เสนอวิธีการเก็บข้อมูลการจราจรโดยมีการแบ่งออกเป็นพื้นที่ แต่ละพื้นที่ยานพาหนะจะพยายามหลีกเลี่ยงการเก็บข้อมูลชุดเดียวกัน จากยานพาหนะข้างเคียงเพื่อใช้ในการประมวลผลเวลาสำหรับยานพาหนะแต่ละคันเมื่อถึงจุดหมายที่ต้องการ อีกทั้งในงานวิจัยที่ [5] ได้วิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะกับการกระจายข้อมูล มีการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในทิศทางเดียวกัน การเคลื่อนที่ของรถในทิศทางตรงกันข้าม และการเคลื่อนที่ของรถทั้งสองทิศทาง เมื่อทำการวิเคราะห์ออกมาแล้วได้ผลว่า การกระจายข้อมูลให้กับรถที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามดีกว่าให้กับรถที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน

จากปัญหาในกรณีที่พื้นที่มีจำนวนยานพาหนะเบาบาง ทำให้ข้อมูลที่ได้รับอาจเกิดการสูญหายได้ และงานวิจัยที่ [6] ได้คิดวิธีการ Message Ferrying ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เพื่อแก้ปัญหานี้ ได้นำรถประจำทาง มาเป็นอุปกรณ์ในการส่งต่อข้อมูลสภาพการจราจรบนท้องถนน เนื่องจากรถประจำทางมีเส้นทางในการเดินทางที่แน่นอน

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าในบริเวณที่มีจำนวนยานพาหนะเบาบาง ข้อมูลที่จะทำการส่งต่อเกินระยะการส่งข้อมูล รถประจำทางก็ทำหน้าที่เก็บข้อมูลไว้ และเมื่อวิ่งเข้าสู่พื้นที่ที่มีจำนวนยานพาหนะคับคั่ง ก็ทำการส่งข้อมูลให้กับรถในพื้นที่นั้น ทำให้ข้อมูลที่ได้รับไม่เกิดการสูญหายระหว่างทาง แต่ว่ารถประจำทางไม่มีความน่าเชื่อถือในการเก็บข้อมูล ในกรณีที่ช่วงถนนมีจำนวนยานพาหนะเบาบางในขณะนั้น และไม่มีรถประจำทางวิ่งผ่าน มีความเป็นไปได้ที่ข้อมูลเกิดสูญหาย



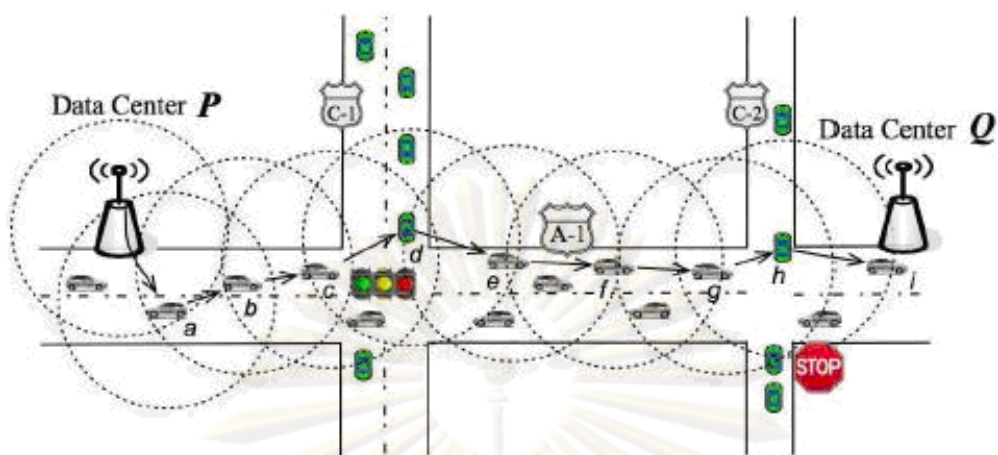
รูปที่ 1.1: การส่งต่อข้อมูล

ในงานวิจัยที่ [8] ถูกออกแบบมาสำหรับระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะที่มีจำนวนยานพาหนะไม่หนาแน่นมากโดยใช้หลักการ carry and forward ยานพาหนะที่มีข้อมูลส่งต่อจะเก็บข้อมูลไว้จนกว่าจะมียานพาหนะคันอื่น ๆ ผ่านเข้ามาในรัศมีการส่งสัญญาณ จากนั้น จึงทำการเลือกยานพาหนะที่จะส่งข้อมูลต่อไปให้ผู้รับโดยเร็วที่สุด ทั้งนี้อาศัยข้อมูลด้านการเคลื่อนที่ ความเร็วและความน่าจะเป็นของความหนาแน่นของยานพาหนะที่ใช้ในการพิจารณาแต่วิธีนี้ มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองเวลามากในการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสม ถึงสามารถสื่อสารกันในระบบ นอกจากนี้ การได้มาซึ่งความน่าจะเป็นของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะนั้นเป็นไปได้ยาก

ในงานวิจัยที่ [9], [10], [11], และ [12] ได้ใช้โปรโตคอลการสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยใช้วิธีการส่งผ่านข้อมูลแบบต่าง ๆ แต่มุ่งเน้นไปในเรื่องของการหาเส้นทางที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล ตามความหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนท้องถนน ในทางปฏิบัตินั้นความหนาแน่นของการจราจรจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและเส้นทางถนน ดังนั้นเส้นทางที่ถูกเลือกนี้ อาจจะไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุด อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาการสูญหายของข้อมูลอีกด้วย

ในงานวิจัยที่ [13] ได้ทำการเพิ่มสถานีที่ไม่ได้มีการติดต่อกับศูนย์กลาง (Static Node) มาเพื่อช่วยในการสื่อสาร ในสภาวะที่มียานพาหนะเบาบาง และงานวิจัยที่ [14] นั้นได้เสนอวิธีการกระจายข้อมูล โดยที่ข้อมูลทำการกระจายมาจากศูนย์กลาง เรียกว่า Data Center P สู่อานพาหนะบนท้องถนน ดังรูปที่ 1.2

จะเห็นได้ว่าการรับข้อมูลจากศูนย์กลางนั้น ข้อมูลที่ได้นั้น มาจากกล้องที่ติดตั้งตามท้องถนน หรืออุปกรณ์ตรวจจับรถยนต์ เป็นต้นซึ่งมีปัญหาในเรื่องการลงทุนที่สูง เพราะว่าต้องมีการวางระบบและติดตั้งโครงข่าย เชื่อมต่อกับศูนย์กลางการควบคุม ในการแก้ปัญหานี้ มีนาโนตข้างถนนมาติดตั้ง (เช่น ตรงป้อมตำรวจ ป้ายรถเมล์ หรือตู้โทรศัพท์) โดยข้อมูลที่ได้มาจากการสื่อสารกับยานพาหนะที่ทำการรายงานสภาวะของตนเองให้กับนาโนตข้างถนน ซึ่งใช้การติดต่อสื่อสารแบบโครงข่ายแอดฮอก จึงจำเป็นต้องมีโปรโตคอลการสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะกับนาโนตข้างถนน จุดมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์นี้ คือ พัฒนาโปรโตคอลการสื่อสารของยานพาหนะ โดยติดตั้งนาโนตข้างถนนเข้ามาในระบบ ซึ่งนาโนตข้างถนนนี้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าสู่ศูนย์กลาง ทำหน้าที่รับข้อมูลจากยานพาหนะและส่งผ่านข้อมูลที่รวบรวมได้จากยานพาหนะส่งไป



รูปที่ 1.2: รูปแบบการกระจายข้อมูล

ยังยานพาหนะอื่นๆ ทำให้อานพาหนะสามารถรับรู้ข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นบนท้องถนนได้เลย ไม่ต้องรอข้อมูลจากศูนย์กลาง อีกทั้ง ในสภาวะที่มียานพาหนะบนท้องถนนเบาบาง โปรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้จะช่วยป้องกันข้อมูลการจราจรสูญหาย และยังเพิ่มอัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จและมีความการกระจายข้อมูลโดยรวมของระบบมีค่าลดลงอีกด้วย ในการสร้างระบบจำลองได้ใช้โปรแกรม NS-2 เพื่อประเมินสมรรถนะในการติดต่อสื่อสารข้อมูลการจราจรจากการออกแบบโปรโตคอล ดังแสดงการทำงานในบทที่ 3

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ มีการนำโนตมาติดตั้งอยู่ข้างถนน (เช่น ตรงป้อมตำรวจ ป้ายรถเมล์ หรือตู้โทรศัพท์) เรียกว่า โนตข้างถนน โดยที่สถานีข้างถนนนี้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าสู่ศูนย์กลาง มีการติดต่อกันแบบโครงข่ายแอตฮอกไร้สาย ซึ่งจะกล่าวถึงกระบวนการในวิธีการต่างๆ ในบทที่ 3 อีกครั้ง

ในขั้นตอนการจำลองจะใช้โปรแกรม Network Simulator (NS2) แต่ได้ดัดแปลงโปรแกรมบางส่วนเพื่อให้เหมาะกับเงื่อนไขที่จะต้องใช้ในการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลภายใต้เงื่อนไขของโครงข่ายแบบต่าง ๆ เช่น จำนวนโนตในโครงข่าย ขนาดของข้อมูล เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลการจราจร ที่ใช้เทคโนโลยีแบบโครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่ ที่มีการสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะ และการสื่อสารของยานพาหนะกับโนตข้างถนนแบบกระจาย โดยมีโนตข้างถนนทำหน้าที่ช่วยในการรับข้อมูลจากยานพาหนะและทำการส่งผ่านข้อมูลที่ติดต่อไปยังยานพาหนะอื่นๆในรัศมีการส่งได้กระบวนการจัดเส้นทางด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

1. อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ (Data received ratio)
2. ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม (Total dissemination time)

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาโปรโตคอลการสื่อสารในโครงข่ายไร้สายแบบแอดฮอกเคลื่อนที่ (MANETs) เพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะด้วยกันเอง และ ยานพาหนะกับโหนดข้างถนน เพื่อให้ยานพาหนะสามารถมีข้อมูลการจราจรครบถ้วนเพื่อการประมวลผลข้อมูลการจราจรและเส้นทางที่ต้องการได้
2. พิจารณารูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดแบบ Car following models โดยมีทั้งหมด 2 ช่องทางการเดินที่ยานพาหนะสามารถวิ่งสวนกันได้ เพื่อให้ได้รูปแบบที่คล้ายคลึงกับการใช้งานจริง
3. ใช้โปรแกรมจำลองระบบโครงข่าย NS2 เพื่อประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลที่ออกแบบด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตสำเร็จ (Data Recived Ratio) ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม (Total Disseminatiom Time) อัตราส่วนการสูญเสียแพ็กเก็ต (Packet Loss Ratio) ปริมาณทราฟฟิกในระบบ (Traffic Load) และปริมาณงาน (Throughput) โดยใช้เทคโนโลยี IEEE 802.11 ในระดับเลเยอร์ดาต้าลิงค์ และโปรโตคอลการหาเส้นทางแบบ AODV ในระดับเลเยอร์โครงข่าย (Network Layer)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาความรู้พื้นฐานของโครงข่ายแอดฮอก
2. ศึกษาและวิเคราะห์การสื่อสารข้อมูล และศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา
3. ออกแบบ พัฒนาการติดต่อสื่อสารโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะตามที่เสนอไว้
4. เขียนโปรแกรมจำลองและปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ตามที่ออกแบบไว้
5. สรุป วิเคราะห์ผลที่ได้ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ในการสื่อสารข้อมูลจราจรที่ใช้โครงข่ายแบบแอดฮอกระหว่างยานพาหนะและยานพาหนะกับโหนดข้างถนน เพื่อให้การเรียกใช้และการประมวลผลข้อมูลการจราจร มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ
2. โปรแกรมจำลองการสื่อสารข้อมูลการจราจรในโครงข่ายแอดฮอกที่นำเสนอ
3. แนวทางในการวิจัยสำหรับการปรับปรุงสมรรถนะการติดต่อสื่อสารในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะต่อไป

1.7 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และแนวทางของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ และคำโครงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงความรู้พื้นฐานของงานวิจัย ประกอบด้วย ความหมายของโครงข่ายแอตฮอก กลไกพื้นฐานของการเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน กลยุทธ์จัดเส้นทางที่เกี่ยวข้อง และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของโหนด ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองผลในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบและกระบวนการทำงานของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโปรโตคอล ชนิดของแพ็กเก็ตที่ใช้ในของโปรโตคอล

บทที่ 4 บทนี้จะกล่าวถึงสภาพแวดล้อมของการจำลอง ผลการจำลอง และวิเคราะห์ผลการจำลองระบบซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ ๆ ในการจำลอง ทอพอโลยีที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบของโปรโตคอลที่น่าเสนอ

บทที่ 5 บทสรุป กล่าวถึงบทสรุป และข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงข่ายแอดฮอค (Ad hoc network)

โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless LAN) เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความสะดวกและความยืดหยุ่นในการใช้งานในที่ต่าง ๆ เช่น ในที่ทำงานหรือสถานที่สาธารณะต่าง ๆ โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สายสามารถทำงานได้ 2 รูปแบบ คือ แบบที่มีสถานีฐาน (Base station) และ แบบที่ไม่มีสถานีฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การทำงานในสถานะที่มีสถานีฐาน การสื่อสารทั้งหมดจะถูกส่งผ่านสถานีฐานซึ่งเรียกว่า จุดเข้าถึง (Access point) ก่อนที่จะถูกส่งไปยังโหนดปลายทาง สำหรับโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายในแบบที่ไม่มีสถานีฐาน การสื่อสารสามารถส่งผ่านกันได้โดยตรง ซึ่งเรียกการทำงานแบบนี้ว่า แอดฮอค



รูปที่ 2.1: โครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สายแบบมีสถานีฐานและไม่มีสถานีฐาน

2.1.1 คุณลักษณะของโครงข่ายแบบแอดฮอค(Characteristics of Ad Hoc Network)

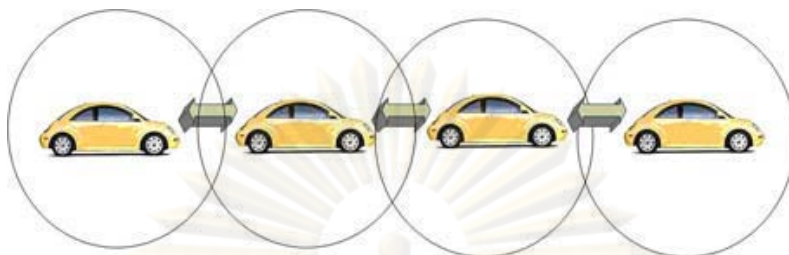
2.1.1.1 ทอพอโลยีแบบพลวัต (Dynamic Topology)

โหนดในโครงข่ายแอดฮอคจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา โดยการเคลื่อนที่ของโหนดเป็นแบบสุ่ม ดังนั้นระบบจะไม่สามารถคาดการณ์การเคลื่อนที่ของโหนดได้ ซึ่งส่งผลให้ทอพอโลยีของโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้ลำบากในการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแอดฮอค

2.1.1.2 การสื่อสารเป็นแบบหลายช่วงเชื่อมต่อ (Multi-hop communication)

เนื่องจากการสื่อสารในโครงข่ายแอดฮอคเป็นการสื่อสารกันโดยตรงโดยไม่ผ่านจุดของการเข้าถึง ดังนั้นโหนดแต่ละโหนดจะต้องมีความสามารถในการเป็นสถานีส่ง สถานีรับ และสถานีระหว่างทาง โดยถ้าการสื่อสารเกินระยะของการส่งข้อมูล (Transmission range) การสื่อสารนั้นจำเป็นต้องอาศัยโหนดระหว่างทาง

(Intermediate node) ในการส่งข้อมูลนั้นไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งจะเห็นได้ว่ายิ่งมีการใช้โหนดระหว่างทางมากขึ้นเท่าใดความซับซ้อนของโครงข่ายก็จะมากขึ้นเท่านั้น



รูปที่ 2.2: การสื่อสารแบบหลายช่วงเชื่อมต่อ (Multi-hop communication)

2.1.1.3 การปฏิบัติการเป็นแบบกระจายศูนย์ (Decentralized operation)

สถาปัตยกรรมของโครงข่ายแอตฮอกมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน อีกทั้งยังไม่มี การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบรวมศูนย์ ดังนั้นโหนดทุกโหนดในโครงข่ายต้องมีความสามารถในการจัดการ การเข้าถึงตัวกลาง และการควบคุมการไหลของทราฟฟิกให้ได้สมรรถนะโดยรวมที่ดีที่สุดโดยการใช้มาตรฐานที่โหนดทุก ๆ โหนดรับรู้ร่วมกัน

2.1.1.4 ข้อจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ (Bandwidth constrain)

การสื่อสารแบบไร้สายจะมีการใช้ประโยชน์รวมของการใช้แบนด์วิดท์ที่ต่ำกว่าการสื่อสารแบบใช้สาย เนื่องจากผลกระทบของการเข้าถึงแบบหลายทาง (Multiple access) เฟดดิ้ง (Fading) สัญญาณรบกวน (Noise) ปัญหาของสถานีที่ซ่อนเร้น (Hidden station problem) และปัญหาสถานีที่รับฟังได้ (Exposed station problem) เป็นต้น ซึ่งผลกระทบของปัญหาเหล่านี้ทำให้การใช้ประโยชน์ของการใช้แบนด์วิดท์มีค่าต่ำกว่าค่าแบนด์วิดท์สูงสุดที่สามารถใช้ได้

2.1.1.5 ข้อจำกัดทางด้านพลังงาน (Energy constrained)

พลังงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่ายก็เป็นคุณลักษณะหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากการสื่อสารในโครงข่ายแอตฮอกเป็นแบบหลายช่วงเชื่อมต่อดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ดังนั้นเมื่อพลังงานของอุปกรณ์ตัวหนึ่งตัวใดหมดไปหรือไม่เพียงพอในการส่งข้อมูล อาจส่งผลกระทบต่อโครงข่ายได้

2.1.2 โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ (Vehicular Ad-Hoc Network หรือ VANET)

โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ (Vehicular Ad-Hoc Network หรือ VANET) เป็นรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายแอตฮอกแบบเคลื่อนที่ (Mobile ad-hoc network หรือ MANET) โดยโครงข่าย VANETs คือการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างยานพาหนะ หรือการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่บริเวณของถนน (fixed equipment) การพิจารณาระหว่างระบบ MANETs กับ VANETs มีส่วนคล้ายคลึงกันมาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดแล้ว ทั้งสองรูปแบบนั้นมีลักษณะแตกต่างกัน คือ

- Embedded System: โดยพื้นฐานของระบบสมองกลอัจฉริยะ (embedded) เป็นโปรแกรมที่ถูกติดตั้งอยู่ในยานพาหนะเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสาร แบบข้อมูลและทางไกล ดังนั้นในยานพาหนะ จึงมีความสำคัญที่นำ โปรโตคอลของ VANETs เข้ามาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีอยู่ ซึ่งอาจจะมีสถาปัตยกรรมที่รวมหลายๆเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน
- Infinite Energy Supply: เป็นหนึ่งในการแก้ปัญหาของ MANETs เช่น เมื่อนำไปใช้กับ wireless sensor network เมื่อใดที่มีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด อย่างไรก็ตามปัญหานี้ไม่ถูกนำมาพิจารณาในระบบ VANETs เพราะว่ายานพาหนะนั้น มีแบตเตอรี่ที่มีพลังงานแบบไม่จำกัด ดังนั้น โปรโตคอลที่ใช้ใน VANETs จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องของพลังงานที่ถูกใช้อย่างจำกัด
- Rate of Link Changes: สมมติฐานในระบบ MANETs นั้น โหนดควรจะมี long-lived link แต่ว่า ยานพาหนะมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง ซึ่ง มีความแตกต่างกันบนถนนในเมืองหรือ ทางด่วน ทำให้ มี short-live link นอกเหนือจากนี้การใช้ model การเคลื่อนที่แบบ MANETs เช่น random waypoint model นั้น ไม่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้
- Localization: เป็นข้อดีของระบบ VANETs เพราะว่าในความเป็นจริงนั้น ยานพาหนะสามารถติด GPS เพื่อทราบตำแหน่งและเวลาในขณะนั้น ยิ่งกว่านั้นยังมีระบบนำทางที่บอกรายละเอียดบนแผนที่ โดยที่ถนนจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ข้อมูลที่ได้จาก GPS และ แผนที่ถนนนั้น สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ routing protocol
- Applications: การประยุกต์ใช้งานหลักในงานของ MANETs จะพิจารณาในส่วนของการส่งข้อมูลกันระหว่างสองโหนด(มีการส่งข้อมูลแบบ unicast) อย่างไรก็ตาม การส่งข้อมูลที่เกิดขึ้น ใน VANETs นั้น เป็นแบบ multicast เนื่องจากว่าข้อมูลที่ส่งนั้น มีความต้องการเฉพาะกลุ่มพื้นที่ เช่น ข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ซึ่งในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับโครงการและมาตรฐานการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ V2V (Vehicle to Vehicle) ในยานพาหนะ (In-Vehicle) และระหว่างยานพาหนะกับตัวรับส่งข้อมูลนอกยานพาหนะ V2I (Vehicle to Infrastructure) ตัวอย่าง เช่น การประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัย เมื่อยานพาหนะคันหน้าพบสิ่งกีดขวางหรือประสบอุบัติเหตุ ทำการแจ้งเตือนให้ยานพาหนะคันหลังที่ตามมาเพื่อให้ระวังและสามารถหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุได้ทันท่วงที หรือการสื่อสารระหว่างรถพยาบาลกับสัญญาณไฟจราจรเพื่อควบคุมให้ได้สัญญาณไฟเขียวตลอดเส้นทางในยามเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น

2.2 การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแอดฮอก

การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งโมดการทำงานเป็น 2 โมด

- โมด PCF (Point Coordinate Function) คือ วิธีการเข้าถึงแบบใช้ศูนย์กลางในการควบคุมการเข้าถึง

- โหมด DCF (Distributed Coordinate Function) คือ วิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบไม่ใช้ศูนย์กลางในการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

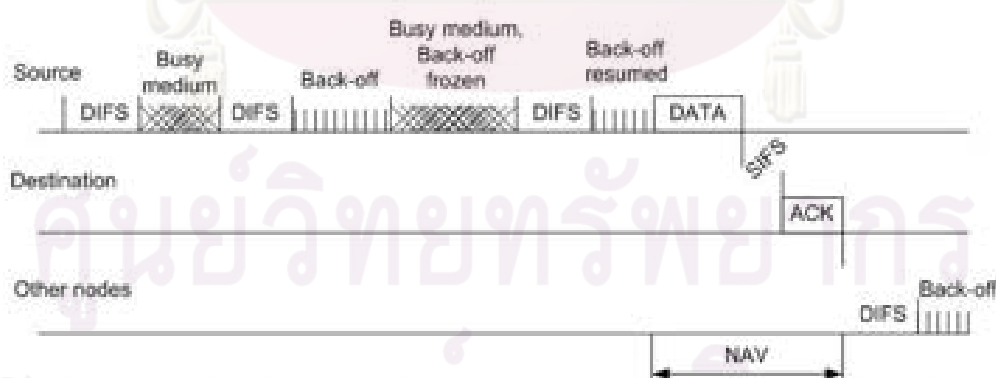
โครงข่ายแอตฮอก มีการทำงานในโหมด DCF โดยที่โหมด DCF ใช้โปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ร่วมกับ Binary exponential backoff เพื่อลดโอกาสในการเกิดการชนกันของข้อมูล กระบวนการทำงานของ CSMA คือ เมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าถึงตัวกลาง สถานีดังกล่าวจะต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่นกำลังรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่และรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง ซึ่งช่วงเวลาวางนี้จะมีค่าเท่ากับ DIFS (DCF Inter-Frame Spacing) เมื่อช่องสัญญาณว่างเท่ากับค่า DIFS แล้วสถานีที่ต้องการเข้าถึงตัวกลางจะต้องรอต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่งซึ่งเรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงเวลา backoff ซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าจากความกว้างของหน้าต่างการช่วงชิง สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีโอกาสในการเข้าถึงตัวกลางก่อน ซึ่งค่า backoff นี้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$back - offtime = rand(0, CW) \times slottime \quad (2.1)$$

โดยที่ CW คือ ขนาดความกว้างของหน้าต่างการช่วงชิง (Contention window size)

$slottime$ คือ ผลรวมของเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเฟรม เวลาการประวิงในการเดินทาง เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากเครื่องรับไปเป็นเครื่องส่ง และเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณไปยังชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC layer) เพื่อบอกสถานะของตัวกลาง ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ค่า $slottime$ มีค่าเท่ากับ 20 ไมโครวินาที

ถ้ามีสถานีอื่นส่งข้อมูลในช่วงเวลา backoff นี้ การนับค่า backoff นี้จะหยุดและจะเริ่มนับอีกครั้งหนึ่งหลังจากช่องสัญญาณว่างเป็นช่วงเวลาเท่ากับ DIFS ดังรูปที่ 2.3 จากการใช้ Binary exponential back-off เพื่อลดโอกาสการเกิดการชนกันของข้อมูลแล้ว ก็ยังมีโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลอยู่

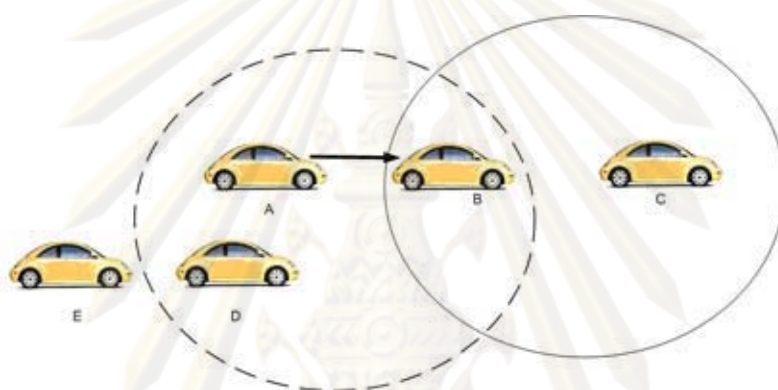


รูปที่ 2.3: กลไกการเข้าใช้ตัวกลางของ IEEE 802.11

ปัญหาสถานะซ่อนเร้น (Hidden terminal problem) เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดในโครงข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากความไม่เข้าใจกันของโหนดในโครงข่ายอันเนื่องมาจากมีโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลบางโหนดไม่ได้อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโหนดที่กำลังส่งสัญญาณออกมา แต่อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณ

ของโน้ตรับเดียวกัน และเมื่อส่งข้อมูลออกมาส่งผลกระทบต่อหรือทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปโน้ต A กำลังส่งแพ็กเก็ตไปยังโน้ต B ในขณะที่เดียวกันโน้ต C ตรวจสอบช่องสัญญาณพบว่าช่องสัญญาณว่างจึงส่งแพ็กเก็ตไปยังโน้ต B เช่นกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตที่โน้ต B ขึ้น

ปัญหาสถานะที่รับสัญญาณได้ (Exposed terminal problem) เป็นปัญหาที่เกิดจากโน้ตที่ต้องการส่งข้อมูลโน้ตหนึ่งอยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโน้ตที่ส่งข้อมูลอยู่อีกโน้ตหนึ่ง ทำให้นโน้ตไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทั้ง ๆ ที่การส่งข้อมูลทั้งสองไม่ได้อยู่ในเส้นทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูป โน้ต A กำลังส่งข้อมูลไปยังโน้ต B ในขณะที่เดียวกันโน้ต D ต้องการส่งข้อมูลไปยังโน้ต E แต่เนื่องจากโน้ต D อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโน้ต A ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ ซึ่งปัญหานี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการส่งแพ็กเก็ตในโครงข่ายลดลง

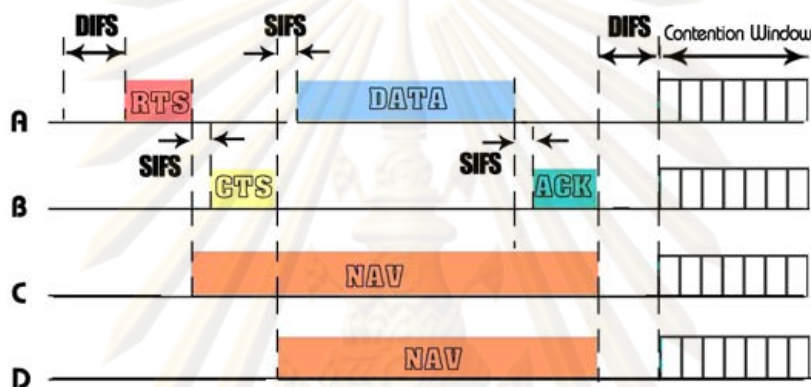


รูปที่ 2.4: ปัญหาสถานะที่ซ่อนเร้นและปัญหาสถานะที่มองเห็น

จากปัญหาทั้งสองแบบมีวิธีการแก้ไขโดยการตรวจสอบการชนกันของข้อมูล ใช้โปรโตคอล CSMA/CD ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบช่องสัญญาณอย่างมาก แต่เนื่องจากเทคนิค CSMA/CD ไม่สามารถนำมาใช้กับ WLAN ซึ่งใช้การสื่อสารแบบไร้สายได้ สาเหตุหลักๆ ก็คือการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณจะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็น Full Duplex (สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้) ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน

การหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้น ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาคือแต่ละโน้ตอาจไม่ได้ยินสัญญาณจากโน้ตอื่นบางโน้ต กลไกดังกล่าวมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.5 เมื่อโน้ตที่ต้องการจะส่งข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางแล้วจะส่งแพ็กเก็ตสั้นๆ ที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจริง ซึ่งแพ็กเก็ต RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึงที่อยู่ของโน้ตต้นทางและโน้ตปลายทาง เมื่อโน้ตปลายทางได้รับแพ็กเก็ต RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งแพ็กเก็ต CTS (Clear To Send) ซึ่งมีการบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าโน้ตต้นทางจะส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุกๆ โน้ตจะได้รับแพ็กเก็ต RTS หรือ CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS โน้ตทุก ๆ โน้ตจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่จะระบุไว้ใน

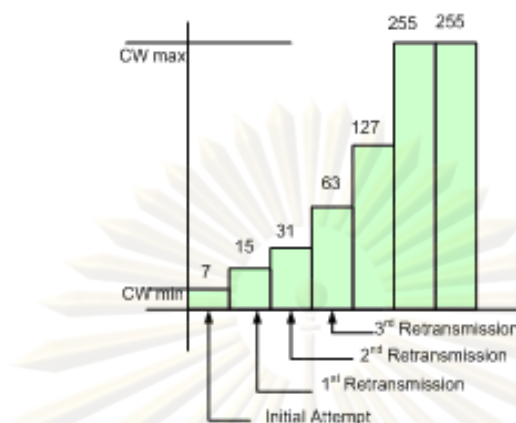
Duration ID ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยังคงจะถูกรับใช้และทุกโหนดที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ หรือเพื่อเป็นการเตือนให้ทราบว่าช่องสื่อสารไม่ว่าง ซึ่งสัญญาณ NAV เป็นเพียงสัญญาณภายในแต่ละโหนดที่สมมติขึ้นมาเพื่อบอกให้โหนดนั้น ๆ หยุดการส่งสัญญาณในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งไม่มีการส่งสัญญาณนั้นจริงในโครงข่าย โดยโหนดทุก ๆ โหนดจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริง ๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่ โหนดที่ส่งข้อมูลจะต้องรอรับ ACK (Acknowledgement) จากโหนดที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ ACK กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าการเกิดการชนของแพ็กเก็ตเกิดขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำต่อไป



รูปที่ 2.5: ตัวอย่างการเข้าถึงช่องสัญญาณในมาตรฐาน IEEE802.11 แบบ DCF

ในแต่ละขั้นตอนของการส่งและรับนั้นจะมีช่องว่างระหว่างเฟรม (Inter-Frame Spacing) โดยช่องว่างระหว่างเฟรมนี้มี 4 ช่วง เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยช่วงระยะหยุดนิ่งแบบแรกคือช่วง SIFS (Short Inter Frame Spacing) ซึ่งจะมีช่วงที่สั้นที่สุด ที่จะคอยเปิดโอกาสให้สถานีที่กำลังสื่อสารกันอยู่นั้นสามารถสื่อสารกันได้ ซึ่งช่วงนี้จะใช้กับการส่งสัญญาณควบคุมต่างๆ และจะรวมถึงการยอมให้ผู้ส่งสามารถส่งเฟรม fragment burst ต่อกันเป็นลำดับได้โดยไม่ต้องส่งเฟรม RTS อีกรอบ แต่จะมีเพียงสถานีเดียวเท่านั้นที่สามารถตอบสนองในช่วงเวลานี้ และถ้าสถานีนั้นสละสิทธิ์ในการใช้ประโยชน์จากช่วงเวลาดังกล่าวก็จะเข้าสู่ช่วงเวลาถัดไป คือช่วง PIFS (PCF Inter-Frame Spacing) คือ ค่าช่องว่างระหว่างเฟรมที่ให้สถานีฐานสามารถครอบครองช่องสื่อสารได้โดยไม่ต้องแข่งขันกับผู้ใด สถานีฐานจะส่ง beacon frame หรือ poll frame ได้ กลไกนี้ช่วยให้สถานีที่กำลังส่งเฟรมข้อมูลหรือ fragment sequence สามารถส่งเฟรมต่อไปได้จนเสร็จสิ้นโดยที่ไม่มีผู้ใดมาขัดจังหวะได้ แต่ถ้ากรณีที่สถานีฐานไม่มีข้อมูลที่จะส่งก็จะถึงช่วงเวลา DIFS (DCF Inter-Frame Spacing) ซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างเฟรมที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลที่มีการเข้าถึงแบบ DCF ที่เปิดโอกาสให้ทุกสถานีสามารถส่งข้อมูลออกมาเพื่อขอใช้ช่องสัญญาณในกรณีที่เกิดการส่งสัญญาณซ้อนมาจากหลายสถานี กลไก binary exponential back-off จะถูกนำมาใช้แก้ปัญหานี้ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการทำงานต่อไป และช่วงสุดท้ายคือ EIFS (Extended Inter-Frame Spacing) เป็นช่องว่างระหว่างเฟรมที่ใช้สำหรับตรวจสอบและรายงานความถูกต้องในการได้รับเฟรมข้อมูล เหตุที่กำหนดช่วงเวลานี้ไว้เป็นลำดับสุดท้าย ก็เพื่อให้สถานีที่ได้รับเฟรมนั้นมีโอกาสตรวจสอบให้ชัดเจนก่อน เพื่อไม่ให้ส่งข้อมูลออกมารบกวน

การสื่อสารที่อาจกำลังดำเนินอยู่ตามปกติ



รูปที่ 2.6: การเพิ่มแบบ Exponential ของ contention window (CW)

วิธีการทำงานของ binary exponential back-off นั้น จะทำงานเมื่อสถานีที่มีเฟรมข้อมูลที่จะส่งจะตรวจดูช่องสัญญาณจนกระทั่งช่องสัญญาณว่างซึ่งช่วงเวลานี้มีค่าเท่ากับ DIFS (Distributed InterFrame Space) หลังจากนั้นสถานีต้นทางจะรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ random back-off interval หรือ binary exponential back-off จึงจะส่งข้อมูลได้ โดยค่า random back-off interval นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, CW-1]$ โดยที่ CW คือ back-off window size ณ เวลาปัจจุบัน ในการพยายามส่งข้อมูลครั้งแรกนี้ CW จะมีค่าเท่ากับ CW_{min} (Initial back-off window size) ถ้าการส่งข้อมูลล้มเหลวหรือเกิดการชนกันของแพ็กของข้อมูลขึ้น ค่า CW จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของค่าเดิมจนมีค่าเท่ากับ CW_{max} (Maximum window size) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หลังจากนั้นเมื่อสถานีปลายทางได้รับข้อมูลแล้วจะส่ง ACK (Acknowledgement frame) ในช่วงเวลา SIFS (Short InterFrame Space) ในขณะที่สถานีต้นทางจะคอย ACK จากสถานีปลายทาง ถ้าไม่ได้รับ ACK ภายในช่วงเวลา ACK timeout หรือตรวจพบว่ามีเฟรมข้อมูลอื่นส่งข้อมูลอยู่ด้วยก็จะกลับไปทำขั้นตอนการกำหนดค่าช่วง random back-off ใหม่

2.3 กลยุทธ์การหาเส้นทางในโครงข่ายแอตฮอก

การหาเส้นทางของโครงข่ายแอตฮอกแบบไร้สายสามารถจำแนกได้เป็นสามประเภทตามกระบวนการปรับปรุงข้อมูลการข้อมูลเส้นทางคือ

- ประเภทเตรียมเส้นทางไว้ล่วงหน้า (Proactive or Table-driven routing protocols): โปรโตคอลประเภทนี้ แต่ละโหนดมีการเตรียมและปรับปรุงเส้นทางสูโหนดอื่นๆในรูปของทอพอโลยีโครงข่ายอยู่เสมอ ด้วยการกระจายสัญญาณแลกเปลี่ยนข้อมูลทอพอโลยีกัน โดยทั่วไปมักใช้การกระจายทุกทิศทุกทาง (Floods) ไปทั่วทั้งโครงข่าย และเมื่อไรที่โหนดต้องการเส้นทางสูโหนดใดๆ มีการใช้โปรโตคอลหาเส้นทางคำนวณหาเส้นทางจากข้อมูลที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้านั้น
- ประเภทหาเส้นทางเมื่อต้องการ (Reactive or on-demand routing protocols): โปรโตคอลประเภทนี้ ไม่มีกระบวนการเก็บรักษาข้อมูลข้อมูลโครงข่าย โปรโตคอลจะหาเส้นทางโดยการสร้างการเชื่อมต่อ

เมื่อต้องการติดต่อสื่อสารกัน ทำให้โหนดในโครงข่ายจะไม่มี การแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเมื่อไม่มีเกิดการติดต่อสื่อสารกัน

- ประเภทผสมผสาน (Hybrid routing protocols): โพรโตคอลนี้จะรวมเอาข้อดีของจากทั้งสองโพรโตคอลข้างต้น โหนดใด ๆ ที่อยู่ห่างออกไประยะหนึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในโซนที่ใช้การหาเส้นทางแบบเตรียมไว้ล่วงหน้า และสำหรับโหนดที่ไกลกว่านั้นจัดให้มีการหาเส้นทางเมื่อต้องการ

การหาเส้นทางในงานวิจัยฉบับนี้ เลือกใช้การหาเส้นทางแบบ AODV ซึ่งมีงานวิจัยด้านโครงข่าย แอดฮอกของงานยานพาหนะใช้การหาเส้นทางแบบนี้

Ad Hoc On-demand Distance-Vector Routing Protocol ใช้แนวคิดแบบ On-demand ในกระบวนการร้องขอเส้นทางคือจะมีกระบวนการร้องขอและสร้างเส้นทางเฉพาะเมื่อมีโหนดใดต้องการส่งข้อมูล ใช้กระบวนการหมายเลขลำดับปลายทาง (Destination Sequence Number) ในการบ่งบอกถึงอายุของเส้นทาง ความแตกต่างระหว่างโพรโตคอล AODV และ DSR คือ DSR ใช้กระบวนการหาเส้นทางโดยโหนดต้นทาง (Source Routing) แพ็กเก็ต DSR จะบันทึกข้อมูลเส้นทางทั้งหมดเข้าไปในแพ็กเก็ตด้วย แต่ใน AODV โหนดต้นทางและโหนดระหว่างทางจะเก็บข้อมูลหมายเลขของโหนดถัดไป (next-hop) สูโหนดปลายทางหนึ่งๆ ในกระบวนการหาเส้นทางแบบ On-demand โหนดต้นทางจะกระจาย (floods) แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง (Route Request Packet) เมื่อใดที่เส้นทางสูโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นใช้การไม่ได้ และเป็นไปไม่ได้ที่จะมีหลายเส้นทางหลายเส้นทางจากการร้องขอหนึ่งครั้ง และอีกความต่างที่โดดเด่นของโพรโตคอล AODV เหนือโพรโตคอลอื่นๆคือ โพรโตคอล AODV ใช้หมายเลขลำดับปลายทางเพื่อบอกถึงความใหม่ของเส้นทาง ดังนั้นโหนดจะปรับปรุงเส้นทางตามแพ็กเก็ตที่ได้รับมาเมื่อหมายเลขลำดับปลายทางในแพ็กเก็ตที่รับมามีค่ามากกว่าหมายเลขลำดับปลายทางของเส้นทางเดียวกับที่เก็บไว้ในโหนด

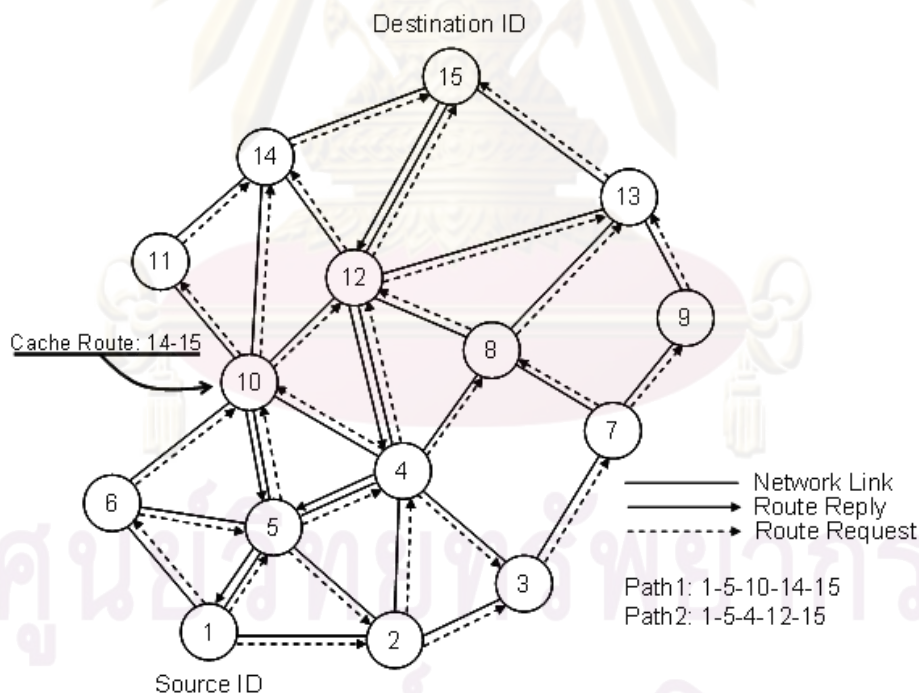
แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางหนึ่งๆ จะประกอบด้วยหมายเลขโหนดผู้ร้องขอ (Source ID) หมายเลขโหนดปลายทาง (Destination ID) หมายเลขลำดับต้นทาง (Source Sequence Number) หมายเลขลำดับปลายทาง (Destination Sequence Number) หมายเลขลำดับการกระจายสัญญาณ (Broadcast ID) และค่าชีวิตแพ็กเก็ต (Time-To-Live : TTL)

หมายเลขโหนดปลายทางจะรายงานความใหม่ของเส้นทางสูโหนดปลายทาง ให้โหนดต้นทางรับรู้ เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางแล้ว โหนดจะเลือกที่จะส่งต่อแพ็กเก็ตหรือส่งแพ็กเก็ตตอบเส้นทาง (Route Reply Packet) ถ้ามีเส้นทางสูโหนดปลายทางที่ร้องขอ การตัดสินใจว่าเส้นทางที่โหนดระหว่างทางนั้นมีจะใช้ได้หรือไม่ จะพิจารณาจากหมายเลขลำดับปลายทางของเส้นทางที่มีเทียบกับหมายเลขลำดับปลายทางในแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง ในกรณีถ้าได้รับแพ็กเก็ตร้องขอหลายครั้ง ถ้าพิจารณาหมายเลขแพ็กเก็ตและหมายเลขโหนดผู้ร้องขอแล้วเห็นว่าเป็นแพ็กเก็ตซ้ำ โหนดจะละทิ้ง (drop) แพ็กเก็ตซ้ำซ้อนนั้น โหนดระหว่างทางหรือโหนดปลายทางเองที่มีเส้นทางที่ใหม่และใช้สิทธิที่จะส่ง

แพ็กเก็ตตอบเส้นทางสูโหนดผู้ร้องขอ โหนดระหว่างทางเมื่อได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจะบันทึกหมายเลขการกระจายข้อมูลและหมายเลขโหนดก่อนหน้าผู้ส่งแพ็กเก็ตไว้ แล้วจะลบข้อมูลนี้ถ้าไม่ได้รับแพ็กเก็ตตอบเส้นทางภายในเวลาที่กำหนด กระบวนการนี้ช่วยให้โหนดระหว่างทางทราบว่าตนนั้นไม่ได้อยู่ในเส้นทางหลัก (Active path) จากโหนดต้นทางสูโหนดปลายทาง และเมื่อโหนดระหว่างทางรับแพ็กเก็ตตอบเส้นทางโหนดจะเก็บ

ข้อมูลหมายเลขของโนดผู้ส่งแพ็กเก็ตมาให้อ่อนหน้าไว้เพื่อจะใช้เป็นเส้นทางในการส่งแพ็กเก็ตสู่นโดปลายทางต่อไป

จากรูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของกระบวนการหาเส้นทาง โนดหมายเลข 1 เริ่มต้นกระบวนการหาเส้นทาง โดยสร้างและกระจายแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางสู่นโดหมายเลข 15 สมมุติให้แพ็กเก็ตมีค่าหมายเลขลำดับปลายทางเท่ากับ 3 และหมายเลขลำดับต้นทางเท่ากับ 1 เมื่อโนด 2 5 และ 6 ได้รับแพ็กเก็ตจะตรวจสอบเส้นทางสู่นโดปลายทางที่ร้องขอ ในกรณีที่ไม่มีเส้นทางโนดจะกระจายแพ็กเก็ตสู่นโดข้างเคียงต่อไป ในที่นี้โนดหมายเลข 3 4 และ 10 เป็นโนดข้างเคียงขอโนด 2 5 และ 6 และสมมุติว่าทั้งโนดหมายเลข 3 และ 10 มีเส้นทางโดยโนดหมายเลข 3 มีค่าหลายเลขลำดับปลายทางเท่ากับ 1 และ 4 สำหรับโนดหมายเลข 10 โดยผ่านเส้นทาง 3-7-9-13-15 และ 10-14-15 ตามลำดับ เนื่องจากโนดหมายเลข 3 มีเส้นทางสู่นโดหมายเลข 15 ที่ต่ำกว่าที่โนดหมายเลข 1 มีอยู่ แต่โนดหมายเลข 10 มีเส้นทางที่ใหม่ และถ้าแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางถึงโนดปลายทางผ่านเส้นทาง 4-12-15 หรือเส้นทางอื่น โนดปลายทางหมายเลข 15 จะส่งแพ็กเก็ตตอบเส้นทาง ในกรณีนี้โนดผู้ร้องขอจะได้รับแพ็กเก็ตตอบเส้นทางหลายครั้ง โนดระหว่างทางทั้งหมดที่ได้รับแพ็กเก็ตตอบเส้นทางจะปรับปรุงเส้นทางของตนถ้าข้อมูลในแพ็กเก็ตนั้นใหม่กว่า (ตรวจสอบจากค่าหมายเลขลำดับปลายทาง) และถ้าหมายเลขลำดับปลายทางมีค่าเท่ากับโนดจะปรับปรุงเส้นทางถ้าเส้นทางใหม่นั้นมีจำนวนฮอปจากโนดต้นทางสู่นโดปลายทางที่น้อยกว่า



รูปที่ 2.7: ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลุ่ท AODV

โปรโตคอลการหาเส้นทางแบบ AODV ไม่มีกระบวนการซ่อมแซมเส้นทางแบบเพียงบริเวณที่เส้นทางเสียหาย (locally repair) แต่เมื่อใดที่มีการแจ้งเตือนว่าลิงค์เสียหายจากกระบวนการกระจายแพ็กเก็ตตกหายยืนยันทสถานะการเชื่อมต่อหรือผ่านการแจ้งเตือนผ่านชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC โนดปลายทางทั้งสองข้างจะได้รับรู้ (โนดต้นทางและโนดปลายทาง) เมื่อใดที่โนดต้นทางรับรู้ถึงความเสียหายนี้ โนดจะสร้าง

เส้นทางใหม่ถ้ายังมีความต้องการจากเลเยอร์บน แต่ถ้าโนดระหว่างทางเป็นผู้รับรู้ลิงค์เสียหายแล้ว โนดนั้นจะแจ้งเตือนโนดปลายด้วยการส่งแพ็กเก็ตตอบเส้นทางชนิดหนึ่งที่มีค่าฮอปเท่ากับอนันต์

จากรูปที่ 2.7 สมมุติว่าลิงค์ระหว่างโนดหมายเลข 4 และ 5 เสียหายทั้งสองโนดนี้จะแจ้งเตือนไปยังโนดปลายของฝั่งตน โนดปลายทั้งสองจะลบเส้นทางที่เสียหายนั้นออก โนดต้นทางอาจทำการสร้างเส้นทางใหม่ด้วยหมายเลขการกระจายสัญญาณใหม่และหมายเลขลำดับปลายทางเดิม

การป้องกันไม่ให้โนดใช้เส้นทางผ่านไปยังข่ายเชื่อมโยงที่เกิดข้อผิดพลาดดังกล่าวอีก ทุกโนดที่ได้ข้อความจากแพ็กเก็ต RERR จะต้องทำการตรวจสอบในตารางเส้นทางเดินของข้อมูลของตนเองว่ามีเส้นทางใดบ้างที่ต้องใช้โนดดังกล่าวเพื่อไปยังโนดปลายทาง ถ้าตรวจพบว่ามีเส้นทางดังกล่าวโนดจะทำการลบเส้นทางนั้นทิ้งไป ในส่วนขั้นตอนในการตรวจสอบสถานะของข่ายเชื่อมโยงว่าเกิดความเสียหายหรือไม่นั้นมีความด้วยกัน 2 วิธีคือ การใช้ความสามารถของกระบวนการในชั้นข่ายเชื่อมโยงและชั้นเครือข่าย

วิธีแรกคือ ใช้การแพร่กระจายแพ็กเก็ตข่าวสารทักทาย (Hello message) โนดจะทำการแพร่กระจาย hello message ไปยังโนดข้างรอบข้างซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลเฉพาะตัวของโนดนั้นและหมายเลขแสดงลำดับของโนด โดยที่ค่าหมายเลขแสดงลำดับของโนดจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงสำหรับการส่ง hello message โดย hello message ได้ถูกป้องกันไม่ให้เกิดการทำการแพร่กระจายแพ็กเก็ตต่อไปอีกครั้ง หลังจากได้รับมาในครั้งแรกด้วยการตั้งค่า Time To Live (TTL) เท่ากับ 1 วินาที ภายหลังจากที่โนดรอบข้างได้รับแพ็กเก็ตดังกล่าวแล้วโนดก็จะทำการปรับปรุงข้อมูลการเชื่อมต่อท้องถิ่น (Local Connectivity) แต่ถ้าโนดไม่ได้รับ hello message เป็นจำนวนเท่ากับ allowed-hello-loss ติดต่อกันหรือเวลาที่กำหนดจากโนดรอบข้าง แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อท้องถิ่นจากเดิมออกไป (ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายหรือไม่มีการเชื่อมต่อกัน) ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่ไม่ได้รับจากโนดรอบข้างที่ใช้งานในการส่งข้อมูลอยู่ โนดก็จะตัดสินใจว่าข่ายเชื่อมโยงถัดไปเกิดความเสียหายไม่สามารถส่งข้อมูลต่อไปได้

วิธีที่สองคือ การใช้ link-layer notification ซึ่งเป็นกระบวนการจากมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยแต่ละครั้งที่มีการส่งแพ็กเก็ตไปยังโนดถัดไปที่กำลังใช้งานอยู่ โนดจะต้องมีการตรวจสอบการเชื่อมต่อด้วยวิธีต่างๆ เช่น การไม่ได้รับแพ็กเก็ตการตอบรับจากการส่ง (Acknowledge) หรือ การไม่ได้รับแพ็กเก็ต Clear to send (CTS) หลังจากที่ยัง Ready To Send (RTS) ออกไปแล้ว

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีแรกคือ การใช้แพ็กเก็ตข่าวสารทักทายในการตรวจจับความผิดพลาดของข่ายเชื่อมโยงและตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อแบบท้องถิ่น เนื่องจากวิธีนี้ทำให้โนดสามารถตรวจจับความผิดพลาดได้อย่างรวดเร็วแตกต่างจากวิธีที่สองที่จะต้องรอจนกว่าจะมีการรับส่งแพ็กเก็ตระหว่างโนดเกิดขึ้น จึงจะสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ ซึ่งผลดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียของแพ็กเก็ตข้อมูลเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับวิธีการแบบแพ็กเก็ตข่าวสารทักทายที่จะต้องใช้เวลาโอเวอร์เฮด (Overhead) แพ็กเก็ตมากขึ้นเพื่อตรวจจับการทำงานดังกล่าว นอกจากนี้วิธีที่สองเป็นวิธีที่ไม่มีความสามารถในการพิจารณาว่าโนดใดเป็นโนดรอบข้าง (มีการเชื่อมต่อแบบท้องถิ่น) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำให้โปรโตคอลการค้นหาเส้นทางมีประสิทธิภาพในด้านการอนุรักษ์มากขึ้น

2.4 แบบจำลองการเคลื่อนที่ในโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ

การจำลองแบบการเคลื่อนที่ของโหนดมีการพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของโหนดให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริง โดยมีการเปลี่ยนความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ในหัวข้อนี้อธิบายการทำงานของแบบจำลองการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 แบบ สำหรับโครงข่ายแอตฮอกที่เคลื่อนที่แบบสุ่มบนพื้นที่เปิดกว้าง (2 แบบ) และการเคลื่อนที่แบบจำลองการเคลื่อนที่ Car following model [15]

- Random Walk Mobility Model: เป็นรูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ที่ง่ายซึ่งมีการสุ่มทิศทางและความเร็ว
- Random Waypoint Mobility Model: แบบจำลองการเคลื่อนที่นี้จะมีช่วงเวลาที่โหนดเคลื่อนที่ที่จะหยุดระหว่างการเปลี่ยนทิศทางและความเร็ว
- Car following model เป็นการจำลองการเคลื่อนที่เสมือนยานพาหนะวิ่งตามกันในสภาพแวดล้อมเมือง

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของโครงข่ายแอตฮอกที่เคลื่อนที่แบบสุ่ม ในส่วนนี้จะอธิบายถึง 2 รูปแบบของแบบจำลองการเคลื่อนที่ ที่ถูกเสนอสำหรับประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายแอตฮอก คือ Random Walk Mobility Model และ Random Waypoint Mobility Model ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่ถูกใช้โดยนักวิจัยมากที่สุด

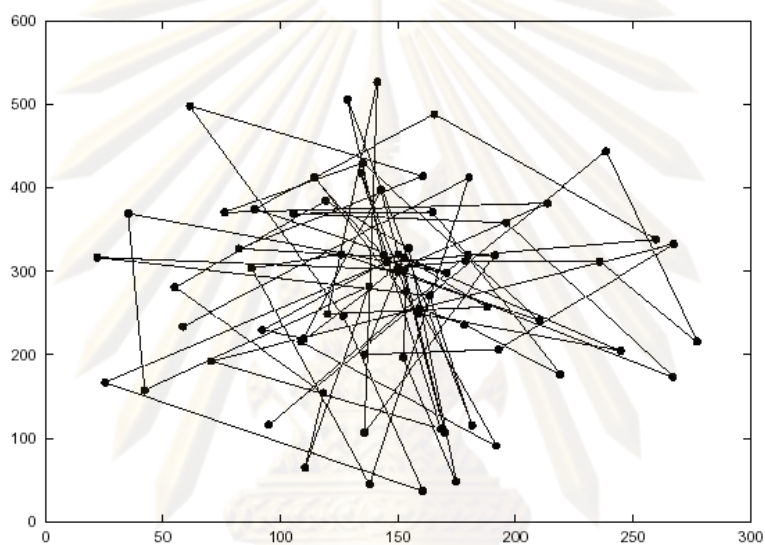
2.4.1 Random Walk

แบบจำลองการเคลื่อนที่นี้ โหนดเคลื่อนที่ที่จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งใหม่โดยการสุ่มเลือกทิศทางและความเร็วเพื่อที่จะเดินทางไป ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ใหม่นั้นเลือกแบบสุ่มจากช่วงที่สามารถระบุได้คือ $[-\text{speedmin}, \text{speedmax}]$ และ $[-0, 2\pi]$ ตามลำดับ แต่ละการเคลื่อนที่ใน Random Walk Mobility Model เกิดขึ้นในช่วงค่าคงที่เวลา t หรือค่าคงที่ระยะทางที่เคลื่อนที่ d ไปได้ ที่จุดสิ้นสุดการเคลื่อนที่ค่าทิศทางและความเร็วใหม่จะถูกสุ่มอีกครั้ง ถ้าโหนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปชนขอบของพื้นที่จำลองมันจะกระเด็นออกมากลับมุมที่ถูกระบุ (ทิศทางตั้งฉาก) กับทิศทางที่เข้ามาจากนั้นโหนดเคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ต่อตามเส้นทางนั้น

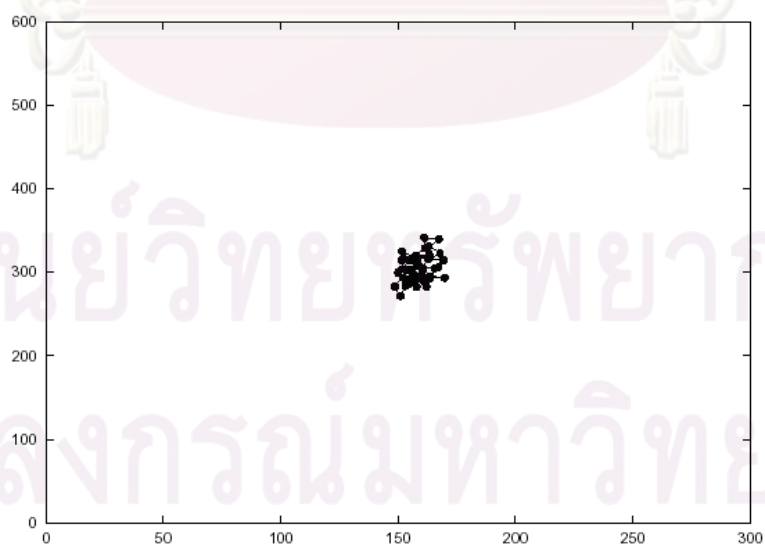
การจำลองแบบ Random Walk Mobility Model ได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลายรูปแบบทั้งใน 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ และ d มิติ เพื่อพิสูจน์ว่า Random Walk ในหนึ่งหรือสองมิติจะวิ่งกลับเข้าหาจุดเริ่มต้นด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 คุณสมบัตินี้ทำให้ทราบว่า Random Walk เป็นการแสดงแบบจำลองการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่จะอยู่รอบ ๆ จุดเริ่มต้น โดยปราศจากการเคลื่อนที่ที่โหนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปไกลจากจุดเริ่มต้นแล้วไม่กลับมาถึงจุดเดิม

Random Walk Mobility Model 2 มิติ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะว่าพื้นผิวโลกถูกจำลองเป็น 2 มิติ รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของการเคลื่อนที่ที่ใช้แบบจำลอง 2 มิติโดยโหนดเคลื่อนที่ที่จะเดินทางแต่ละครั้งด้วยเวลา 60 วินาทีก่อนเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในรูปที่ 2.9 เป็นตัวอย่างการเคลื่อนที่ของโหนดเคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่แต่ละครั้งมีระยะทางที่คงที่ก่อนการสุ่มเลือกเส้นทางใหม่

Random Walk Mobility Model เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ไม่มีความจำ (memory less) เพราะว่าทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนที่ในปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ไม่ขึ้นกับทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนที่ในอดีต คุณสมบัตินี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่เป็นจริงขึ้น เช่น เกิดการหยุดกะทันหัน และมีการเปลี่ยนทิศทางกะทันหันถ้าระยะเวลาในการเคลื่อนที่แต่ละครั้ง (ระยะทาง) ถูกกำหนดให้มีค่าน้อยแล้วรูปแบบการเคลื่อนที่จะถูกสุมอยู่ในพื้นที่ที่จำกัดเป็นส่วนเล็กๆของพื้นที่จำลอง รูปที่ 2.9 แสดงประเภทการเคลื่อนที่แบบธรรมชาติสถิต (static nature) ตามที่แสดง โหนดเคลื่อนที่ไม่เคลื่อนที่ไปไกลจากตำแหน่งเริ่มต้น ดังนั้นถ้าเป้าหมายของการสังเกตประสิทธิภาพเพื่อสำหรับประเมินเครือข่ายกึ่งสถิต จะต้องตั้งค่าคงที่ที่จะเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ให้มีค่าน้อย



รูปที่ 2.8: รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ

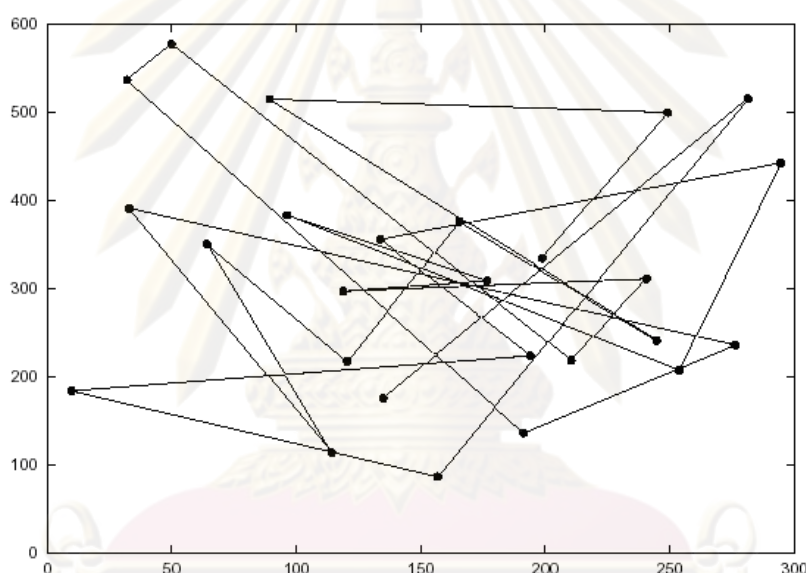


รูปที่ 2.9: รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ (ระยะทางคงที่)

2.4.2 Random Waypoint

Random Waypoint Mobility Model นั้นมีช่วงเวลาที่โหนดหยุด (pause time) ในระหว่างการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือความเร็ว โหนดเคลื่อนที่จะอยู่ที่ตำแหน่งหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด เมื่อหมดช่วงเวลานั้นโหนดเคลื่อนที่จะสุ่มเลือกตำแหน่งที่จะไปในพื้นที่จำลอง และความเร็วจะสุ่มระหว่าง $[-\text{minspeed}, \text{maxspeed}]$ หลังจากนั้นโหนดเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ได้เลือกกับค่าความเร็วที่สุ่มได้ เมื่อเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเป้าหมายโหนดเคลื่อนที่จะหยุดที่ระยะเวลาที่กำหนดแล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งกับความเร็วอีกครั้ง

จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่ของโหนดเคลื่อนที่ที่ใช้ Random Waypoint Mobility Model รูปแบบการเคลื่อนที่นี้มีความคล้ายกับ Random Walk Mobility Model คือถ้าช่วงเวลาที่หยุดเป็นศูนย์ และ $[-\text{minspeed}, \text{maxspeed}] = [-\text{speedmin}, \text{speedmax}]$



รูปที่ 2.10: รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดเคลื่อนที่ที่ใช้ Random Waypoint

2.4.3 แบบจำลองของการเดินทาง (Car following model)

รูปแบบของกระบวนการเดินทางที่มีการขับตาม ๆ กันไปบนถนนที่มี ช่องทางเดินเพียงช่องทางเดียว (Car following) การเดินทางลักษณะนี้เป็นรูปแบบที่พบเห็นในเมือง มีรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ครบสมบูรณ์ และยังเป็นรูปแบบที่ง่ายเมื่อเทียบกับการเดินทางรูปแบบอื่นอีกด้วย ในการใช้งานจริงบนถนนที่มีหลายช่องทางเดินแต่มีสภาพการไหลที่ไม่คล่องตัว แบบจำลองการเดินทางแบบนี้จึงเป็นแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำสูงเมื่อยานพาหนะเคลื่อนตามกันไปด้วยระยะห่างเฉลี่ย S (Space) และความเร็วเฉลี่ย V (Velocity) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและความเร็วสัมพันธ์กับความจุของช่องทางเดินทางเดียว C (Capacity) ดังสมการที่ (2.2)

$$c = (1000) \frac{V}{S} \quad (2.2)$$

เมื่อ

C คือ ความจุของช่องทางเดินทางเดี่ยว (คันต่อชั่วโมง)

V คือ ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

S คือ ระยะห่างเฉลี่ยจากกันชนหลังของยานพาหนะคันหน้าถึงกันชนหน้าของยานพาหนะคันหลัง (เมตร)

นอกจากนี้ผลจากการศึกษาของ Highway Capacity Manual (1950) กล่าวถึงความสัมพันธ์ ระหว่างความเร็วและระยะห่าง ดังสมการที่ (2.3)

$$S = \alpha + \beta V + \gamma V^2 \quad (2.3)$$

เมื่อค่าของสัมประสิทธิ์ α , β และ γ นั้นเป็นได้หลายค่า โดยความหมายทางกายภาพ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ค่าจำกัดความ ของสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ดังนี้

α คือ ความยาวยังผลของตัวถังรถ (Effective vehicle length), L (เมตร)

β คือ ช่วงเวลาปฏิกิริยา (Reaction time), T (วินาที)

γ คือ ส่วนกลับของสองเท่าอัตราชะลอสูงสุดของรถคันหลัง (Reciprocal of twice the maximum average deceleration of a following vehicle)

ในส่วนของเทอม γV^2 เป็นการเพิ่มเข้ามาเพื่อสำรองระยะห่างระหว่างรถ เมื่อรถคันหน้าต้องการเบรคอย่างฉับพลันและไม่ให้เกิดการชน โดยมีค่าปรกติ $\gamma \approx 0.023 \text{ sec}^2 / \text{ft}$

นอกจากนั้นยังสามารถตีความหมายทางกายภาพของสัมประสิทธิ์ γ ในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่แม่นยำขึ้นได้สมการที่ (2.4)

$$\gamma = 0.5(a_f^{-1} - a_l^{-1}) \quad (2.4)$$

เมื่อ a_f และ a_l คืออัตราชะลอเฉลี่ยสูงสุดของรถคันตามและรถคันหน้าตามลำดับ สมการนี้ต้องการบอกถึงการอนุญาตให้ประสิทธิภาพการเบรคของรถทั้งสองนั้นต่างกันได้โดยไม่เกิดการชนกัน

สมการที่ (2.4) นี้สามารถใช้วิเคราะห์ได้จริงกับระบบที่รถแต่ละคันพยายามรักษาความเร็ว และระยะห่างให้คงที่ (การจราจรกระแสคงตัว (Steady-state traffic stream)) การวิเคราะห์ที่เคลื่อนตามกันไปนี้จะเป็นการเชื่อมต่อการวิเคราะห์แบบจุลภาค (Microscopic approaches) ซึ่งคำนึงถึงพฤติกรรมเคลื่อนตาม

กันของรถแต่ละคันเป็นหลักกับการวิเคราะห์แบบมหภาค (Macroscopic approaches) ซึ่งคำนึงถึงการไหลและความคงตัวของจราจรเป็นหลัก

ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลอง (Model development) แบบจำลองรถเคลื่อนตามกันนี้มีสมมุติฐานว่า รถที่เคลื่อนตามกันด้วยระยะห่างประมาณ 0 ถึง 125 เมตรนั้นจะมีความสัมพันธ์ เชื่อมโยงต่อกัน และมีการสมมุติว่าคนขับทุกคนอยู่ในภาวะตื่นตัวสามารถควบคุมระบบขับชี่ และสั่งการควบคุมรถได้ โดยขับชี่บนถนนทางเดินรถเดี่ยวที่ไม่มีการแซงเกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- การรับรู้ (Perception) คนขับจะรวบรวมข้อมูลรอบข้างที่มาจากามองเห็นเป็นหลัก ข้อมูลโดยมากจะมาจากาการเคลื่อนไหวของรถคันหน้าและสิ่งที่คนขับนั้นรับรู้ได้อย่างรวดเร็ว เช่น ความเร็วยานพาหนะ ความเร็วสัมพันธ์ ความเร่ง การเบรคกะทันหัน ระยะห่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงระยะห่างการชน เป็นต้น
- การตัดสินใจ (Decision making) คนขับจะตีความข้อมูลนั้นจากตัวอย่างและเหตุการณ์ต่างๆ เป็นระยะเวลาหนึ่ง การตีความเพื่อตัดสินใจนั้นอยู่บนพื้นฐานของความทราบรู้ยานพาหนะ คันนั้นๆ รวมทั้งประสบการณ์ของผู้ขับชี่เอง จากประสบการณ์ในปัจจุบันและที่ผ่านมาซึ่งนำไปสู่การตอบสนองอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า ทักษะการขับชี่
- การควบคุม (Control) คนขับที่มีทักษะจะสามารถระทำการควบคุมรถได้อย่างนุ่มนวลและจับพลันผ่านการป้อนกลับแบบพลวัตจากสถานะของรถและถนน

ที่ผ่านมา Tustin (1947) Ellson (1949) และ Taylor (1949) มีการจำลองคนขับออกเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน แต่ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เป็นได้นั้นขึ้นอยู่กับาการตอบสนองของผู้ขับชี่ ต่อเมื่อมีสิ่งเร้าที่เกิดขึ้น ผู้ขับชี่ก็จะตอบสนองดังสมการความสัมพันธ์สิ่งเร้าต่อการตอบสนองดังสมการที่ (2.5)

$$Respond(t) = \lambda \times Stimulus(t) \quad (2.5)$$

เมื่อ λ เป็นตัวประกอบสัดส่วนสัมพันธ์สิ่งเร้าสู่การตอบสนองหรือการควบคุม โดยที่สิ่งเร้าประกอบด้วยหลายส่วน เช่น ความเร็ว ความเร็วสัมพันธ์ ระยะห่างระหว่างรถ อัตราเร่ง สมรรถนะของยานพาหนะ ระดับกระตุ้นชี่ดเริ่มของผู้ขับชี่ อย่างไรก็ตามปัจจัยบางตัวอาจส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการตัดสินใจ ดังนั้นแบบจำลองจึงสมมุติว่าผู้ขับชี่นั้นพยายามตามรถคันหน้า หลีกเลียงการชนด้วยความเร็วสัมพันธ์มีการป้องกันการชนและการเร่งหนีอย่างรวดเร็วของรถคันหน้า กำหนดตัวแปรความเร็วสัมพันธ์เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อการตอบสนอง ทันทีที่ผู้ขับชี่สังเกตเห็นสิ่งเร้า ผู้ขับชี่จะตอบสนองเมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดการประวิงเวลา (T) ผู้ขับชี่จะตอบสนองกลับมาในรูปของความเร่งและความหน่วงด้วยการเหยียบคันเร่งหรือเหยียบเบรค ผลของการตอบสนอง สามารถเขียนได้ในรูปของความเร่งได้ดังสมการที่ (2.6)

$$Respond(t) = a_f(t) = \ddot{x}_f(t) \quad (2.6)$$

เมื่อ $x_i(t)$ ตำแหน่งของรถคันที่ i บนถนน ณ เวลา t

จากสมการ (2.5) และ (2.6) จะได้ความสัมพันธ์ของสิ่งเร้าต่อการตอบสนอง (Chandler et al. 1958)

เป็น

$$\ddot{x}_f(t) = \lambda [\dot{x}_l(t - T) - \dot{x}_f(t - T)] \quad (2.7)$$

ซึ่งเทียบเท่ากับ

$$\ddot{x}_f(t + T) = \lambda [\dot{x}_l(t) - \dot{x}_f(t)] \quad (2.8)$$

สำหรับแบบจำลองที่แม่นยำกว่านั้นต้องการการจำลององค์ประกอบย่อย อันได้แก่ แบบจำลองของ คนขับ ปฏิกริยาโต้ตอบระหว่างยานพาหนะและถนน ความเชื่อมโยงระหว่างคนขับ และยานพาหนะ นอกจากนี้ยังรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างรถที่พิจารณากับยานพาหนะที่อยู่ไกลออกไปอีกด้วย

2.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงพื้นฐานของโครงข่ายแอดฮอก ความหมายของโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะวิธีการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแอดฮอก กลยุทธ์การหาเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอกแบบอิงทอพอโลยีชนิด AODV การจำแนกประเภทของกลยุทธ์การจัดเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอก แบบจำลองการเคลื่อนที่ในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะโดยอธิบายถึงแบบจำลองการเคลื่อนที่ในพื้นที่เปิดกว้าง และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่วิ่งบนถนน แบบ Car following model

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

โปรโตคอลที่นำเสนอ

บทที่ผ่านมามีได้กล่าวถึงแนวทางและความสำคัญของการให้บริการในระบบการจราจรอัจฉริยะบนท้องถนน สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงโปรโตคอลที่นำเสนอ โดยมีการพัฒนาโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลการจราจร ผ่านเทคโนโลยีแบบโครงข่ายแอตต็อกเคลื่อนที่ สำหรับโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายแอตต็อกของยานพาหนะที่นำเสนอนี้ มีการนำโหนดมาติดตั้งข้างถนน เรียกว่า โหนดข้างถนน สามารถติดตั้งตรงป้อมตำรวจ ป้ายรถเมล์ เสาไฟฟ้า หรือตู้โทรศัพท์ ซึ่งการติดต่อสื่อสารข้อมูลการจราจรนี้ได้แก่ สถานะการจราจรบนท้องถนน มีการประมาณเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง (traveling time) สภาพอากาศในบริเวณนั้น เหตุการณ์อุบัติเหตุต่างๆที่เกิดขึ้น เป็นต้น หรือแม้กระทั่งสามารถให้ข้อมูลศูนย์บริการน้ำมัน ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้าบริเวณนั้น

ข้อดีของการนำโหนดข้างถนนมาติดตั้งนั้น สรุปได้ 2 กรณี

กรณีที่ 1 ในสภาวะบนท้องถนนที่มียานพาหนะน้อย ทำให้ยานพาหนะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ข้อมูลการจราจรในพื้นที่นี้ อาจเกิดการสูญหายของข้อมูล เมื่อนำโหนดข้างถนนมาติดตั้ง ก็สามารถเก็บข้อมูลจากยานพาหนะแล้วทำการส่งผ่านข้อมูลต่อ เป็นการป้องกันการสูญหายของข้อมูล อีกทั้งเมื่อพิจารณาในสภาวะที่ไม่มียานพาหนะอยู่ในพื้นที่นั้น เมื่อมียานพาหนะเข้ามาในพื้นที่ดังกล่าว ข้อมูลการจราจรนี้จะถูกส่งผ่านจากโหนดข้างถนนไปยังยานพาหนะได้

กรณีที่ 2 ในสภาวะบนท้องถนนที่มียานพาหนะหนาแน่น ทำให้เกิดการแย่งใช้ช่องสัญญาณนั้น ก็จะมีมากขึ้น เมื่อมีการติดตั้งโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้ว โหนดข้างถนนนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลการจราจร เป็นการลดการชนกันของข้อมูลให้น้อยลง

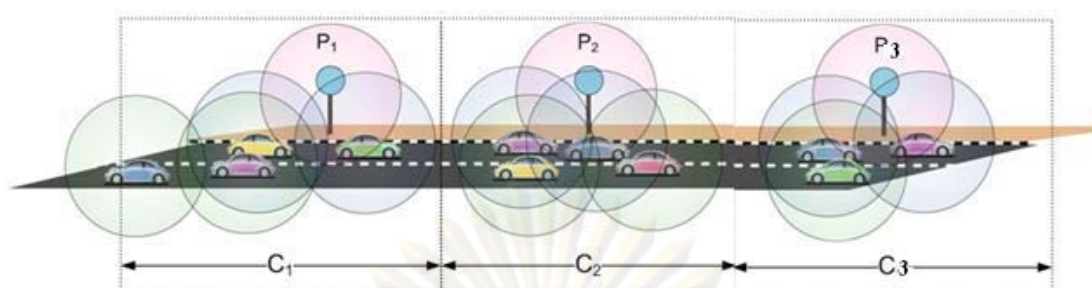
ในระบบโครงข่ายแอตต็อกนั้น เมื่อมีการพิจารณาในเรื่องของ อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จที่เกิดขึ้นโดยปกตินั้นให้ค่าน้อยมาก มีอัตราส่วนการสูญหายข้อมูลสูง จึงได้ออกแบบโปรโตคอล โดยมีจุดประสงค์ให้อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จมีความสำเร็จสูงขึ้น ลดค่าอัตราส่วนการสูญหายข้อมูล และใช้เวลาอันน้อยลงในการส่งผ่านข้อมูล เมื่อมีการนำโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ

3.1 โครงสร้างของระบบ

3.1.1 นิยามคุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่ใช้

ในส่วนนี้ อธิบายถึงความหมายและสัญลักษณ์ที่ใช้ ตามรูปที่ 3.1 ดังนี้

- ถนนจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์เสมือนเล็กๆ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ C_1, C_2, \dots, C_n โดยแบ่งตามโหนดข้างถนนที่มีประจำอยู่ในแต่ละช่วงถนน



รูปที่ 3.1: รูปแบบของโครงสร้าง

- กำหนดโนดข้างถนน หรือ Roadside Unit (RSU) เชียนแทนด้วยสัญลักษณ์ P_1, P_2, \dots, P_n หมายถึงโนดที่นำมาติดตั้งอยู่ข้างถนน เพื่อทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากยานพาหนะแล้วทำการส่งผ่านข้อมูลจราจรที่ได้ประมวลผลแล้วกลับไปยังยานพาหนะบนท้องถนนในเซลล์เสมือนนั้นๆ โดยที่โนดข้างถนนนี้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าสู่ศูนย์กลาง แต่ใช้การติดต่อสื่อสารกับกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่แบบแอดฮอค
- โหนด หมายถึง ยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่บนท้องถนน ในทิศทางเดียวกัน สำหรับ 1 ช่องทางเดินรถ และ เคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามกัน สำหรับ 2 ช่องการเดินรถ โดยยานพาหนะต้องรู้ตำแหน่งของตนเอง ว่าตนเองอยู่ในตำแหน่งของเซลล์เสมือนใด (C_1, C_2, \dots, C_n) เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เซลล์เสมือนใด ๆ และได้ยื่นการร้องขอข้อมูลของโนดข้างถนนในเซลล์นั้นแล้ว จะต้องรายงานข้อมูลกลับไปยังโนดข้างถนน ข้อมูลที่ยานพาหนะรายงานกลับไป เช่น ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ทิศทางที่เดินทางไป หรือตำแหน่งของตนเอง เป็นต้น เพื่อให้โนดข้างถนนนำไปรวบรวมแล้วทำการประมวลผลข้อมูลต่อไป

3.1.2 กระบวนการเก็บข้อมูลของโนดข้างถนน

ในกระบวนการนี้เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เข้ามาในเซลล์เสมือนแล้วจะทำการส่งข้อมูลรายงานไปเก็บไว้ที่โนดข้างถนน หรือต้องการรับรู้ข้อมูลการจราจรในบริเวณนั้น อาจจะมีปัญหา เช่น ข้อมูลที่รับมาเกินไปหรือไม่ และอาจมีข้อมูลใหม่จากยานพาหนะรายงานไปยังโนดข้างถนน ทำให้อานพาหนะไม่สามารถรับข้อมูลใหม่หรือรับข้อมูลซ้ำซ้อนได้ จึงมีการกำหนดให้ โหนดข้างถนน มีช่วงเวลา แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

- Broadcast mode เพื่อทำการส่งแพ็คเกจการร้องขอ (polling packet) ในทุก ๆ ช่วงเวลาของการส่งผ่านข้อมูล เพื่อรับข้อมูล จากยานพาหนะ ส่วนยานพาหนะจะสลับระหว่าง 2 สถานะ คือ Busy mode กับ Idle mode โดยส่วนใหญ่ของยานพาหนะจะอยู่ในสถานะที่เป็น Idle และจะเปลี่ยนเข้าสู่ สถานะ Busy เมื่อยานพาหนะนั้นได้รับข้อมูลการร้องขอจากโนดข้างถนน ซึ่งอยู่ช่วง Broadcast mode ในเวลาเดียวกัน
- Activate mode เป็นช่วงเวลาที่โนดข้างถนนทำการส่งผ่านข้อมูลแล้ว รอการส่งผ่านข้อมูลในช่วงเวลาถัดไปอาจจะมียานพาหนะบางคันในเซลล์เสมือนอื่นๆ ที่ต้องการรับรู้ข้อมูลการจราจร ได้ส่งแพ็คเกจ

การร้องขอข้อมูลการจราจร (request information) ก็จะทำให้การตอบกลับข้อมูลการจราจร (reply information) ไปยังยานพาหนะนั้น

ยานพาหนะอยู่ในสถานะ Idle เมื่อได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอ (polling packet) จากโนดข้างถนนและปรับเข้าสู่สถานะ busy ทันทีทันใด จะทำการรายงานข้อมูลไปยังโนดข้างถนน แล้วกลับเข้าสู่สถานะ Idle อีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้า ยานพาหนะ ต้องการรับรู้ข้อมูลการจราจร จะปรับสถานะเข้าสู่สถานะ busy

3.1.3 กระบวนการการส่งผ่านข้อมูลการจราจร

ในการส่งผ่านข้อมูลการจราจรของโนดข้างถนนนั้น ถ้าข้อมูลการจราจรส่งผ่านไปทั้งระบบโครงข่าย จะทำให้เกิดปัญหาข้อมูลมีความล่าช้า จึงเกิดความต้องการให้ข้อมูลการจราจรส่งผ่านเฉพาะเซลล์เสมือนที่โนดข้างถนนครอบคลุมอยู่ ซึ่งข้อมูลการจราจร (traffic information) จะมีขนาดเล็ก เพราะว่าข้อมูลการจราจรนี้ ถูกประมวลผลจากข้อมูลที่ได้รับรายงานมาข้อมูลมาจากยานพาหนะในเซลล์เสมือนนั้น อีกทั้งเพื่อเป็นการลดความคับคั่งของข้อมูล สำหรับยานพาหนะที่ต้องการรับรู้ข้อมูลการจราจรจำนวนมาก จากการร้องขอข้อมูลการจราจรไปยังโนดข้างถนนจึงมีการออกแบบให้การส่งผ่านข้อมูลการจราจรที่ได้ประมวลผลข้อมูลแล้ว ถูกส่งไปพร้อมกับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลจากยานพาหนะในรอบถัดไป ซึ่งยานพาหนะทุกคันที่อยู่ในเซลล์เสมือนนั้น ๆ ได้รับข้อมูลการจราจรในบริเวณดังกล่าว แต่ถ้ายานพาหนะมีความต้องการข้อมูลการจราจรอื่นๆ นอกเหนือพื้นที่ที่โนดข้างถนนครอบคลุมอยู่มีการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจรไปยังโนดข้างถนนอื่น ๆ ของเซลล์เสมือนในบริเวณที่ต้องการ

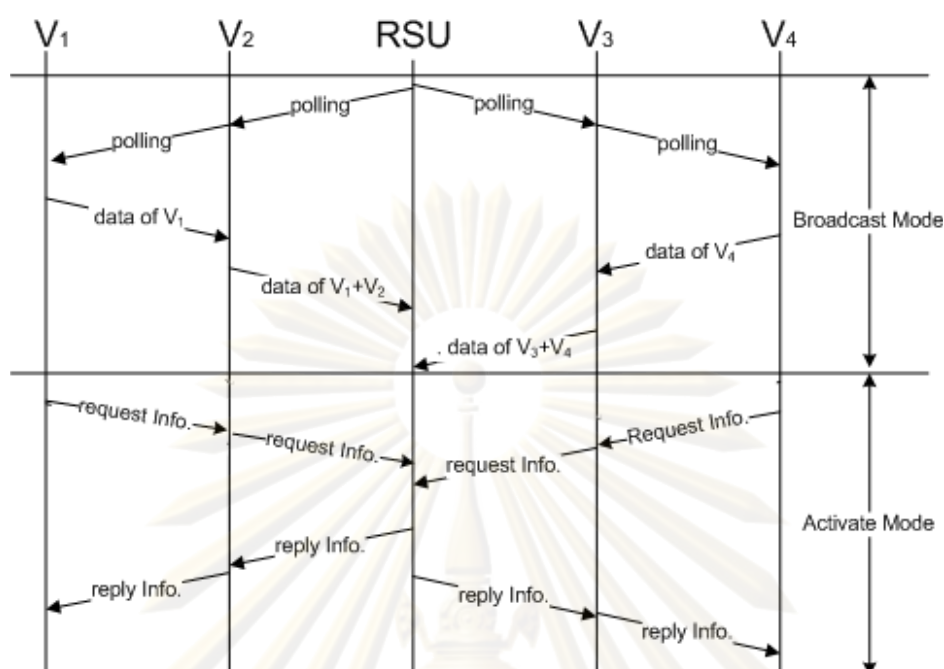
เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือที่เกิดขึ้น ในการส่งผ่านข้อมูลการจราจร ที่มีปัญหาเกิดจากการชนกันของแพ็กเก็ต (packet collision) และ ปัญหาสถานีที่ซ่อนเร้น (hidden node) ในระดับเลเยอร์ดาต้าลิงค์ สำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โพรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนี้มีการใช้วิธี RTS/CTS handshake ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 2 ส่วนของทฤษฎีถึงหลักการทำงาน

3.2 กระบวนการทำงานของโปรโตคอล

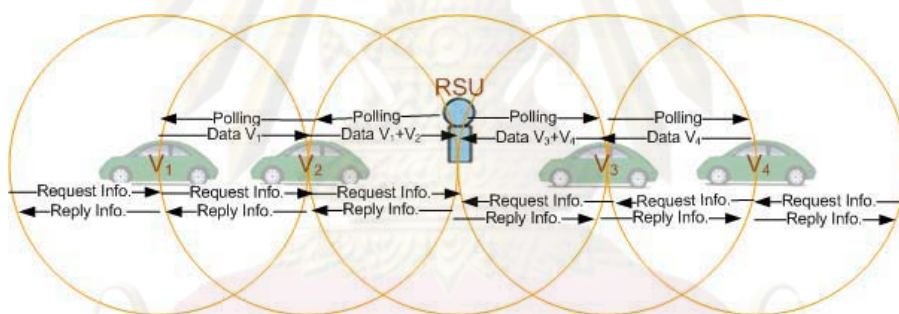
3.2.1 แผนภาพแสดงโครงสร้างของระบบ

สำหรับโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลที่ออกแบบไว้ จะเกิดกระบวนการส่งผ่านข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 สถานะ ดังนี้ ซึ่งมีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.2

- Broadcast mode: โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสาร เริ่มจากกระบวนการเก็บข้อมูลของโนดข้างถนน โดยทำการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอ (polling) สู่อานพาหนะทุก ๆ คันที่อยู่ในบริเวณเซลล์ที่ตนเองดูแลอยู่ และรอการตอบกลับเป็นช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อยานพาหนะได้ยิน ก็จะรายงานข้อมูลกลับ (reply data) ในกรณีที่มียานพาหนะอยู่ไกลเกินกว่ารัศมีการส่งข้อมูลของโนดข้างถนนนั้น ยานพาหนะที่อยู่ไกลจากโนดข้างถนนออกไป จะส่งข้อมูลกลับมาแบบ piggy back ($Data V_1 + V_2 + \dots + V_n$) ให้กับยานพาหนะข้างเคียง โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันมีการตั้งเวลาเริ่มต้นแบบสุ่ม และเริ่มนับถอยหลังพร้อม ๆ กัน ส่งมายังโนดข้างถนน ยานพาหนะใดที่มีเวลาสิ้นสุดก่อนจะรอคอยข้อมูลจากยานพาหนะข้างเคียงนานที่



รูปที่ 3.2: โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโนดข้างถนนและยานพาหนะ



รูปที่ 3.3: แสดงรัศมีการสื่อสารข้อมูลของโปรโตคอลระหว่างโนดข้างถนนและยานพาหนะ

สุด โดยการใช้การเลือกค่าเริ่มต้นนับถอยหลัง ในงานวิจัยโดย Ai H. Ho และคณะ [16] ดังแสดงในสมการที่ (3.1)

$$t(P) = T(1 - P) \quad (3.1)$$

เมื่อ T คือค่าความหน่วงเวลาสูงสุด

- Activate mode: เกิดจากยานพาหนะที่อยู่ในเซลล์เสมือนอื่น ๆ ต้องการทราบข้อมูลการจราจร มีการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลผ่านมายังยานพาหนะที่อยู่ในเซลล์เสมือนนี้ไปที่โนดข้างถนน (request Information) เมื่อโนดข้างถนนได้รับแพ็กเก็ตดังกล่าว ก็ทำการตอบกลับข้อมูลการจราจร (reply information) ที่มีอยู่ไปยังยานพาหนะคันนั้น

3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล

โปรแกรมที่นำมาใช้ในการจำลองการทำงานของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ Network Simulator 2 (NS2) ซึ่งโปรแกรม NS2 ไม่สามารถจำลองการทำงานตามโปรโตคอลที่ออกแบบได้ จึงมีการดัดแปลงโปรแกรมนี้เพื่อทำงานตามขั้นตอนโปรโตคอลที่ออกแบบไว้

3.2.2.1 พารามิเตอร์ ลักษณะแพ็กเก็ต และชนิดของโมดการส่งที่ใช้ในโปรโตคอลการส่งผ่าน

ในส่วนนี้แสดงค่าของพารามิเตอร์ของโปรโตคอลการส่งผ่านที่เสนอ เพื่อสำหรับเก็บข้อมูลของโนดข้างถนน ชนิดของแพ็กเก็ตที่นำมาใช้ และโมดการทำงานของระเบียบวิธีนี้

ตารางที่ 3.1: ตารางนิยามพารามิเตอร์

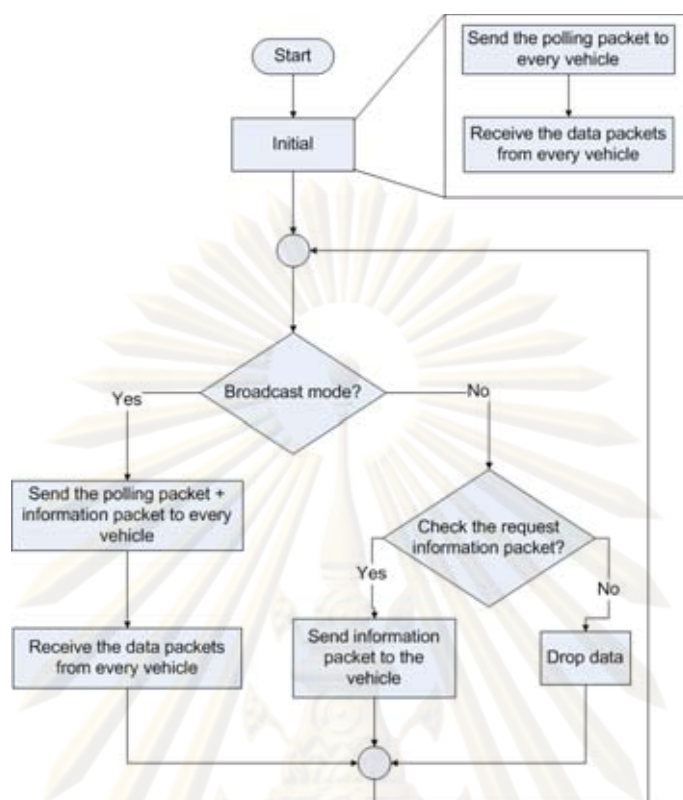
พารามิเตอร์ควบคุมระยะช่วงการเชื่อมต่อ (TTL)	
<i>TTL= 0</i>	การส่งแพ็กเก็ตหมดอายุ
<i>NETWORK_DIAMETER</i>	จำนวนฮอปสูงสุดของโครงข่าย (นิยามโดยสมการ 3.2)
ชนิดของแพ็กเก็ต	
<i>PT_BroadcastBase</i>	แพ็กเก็ตของโปรโตคอลการส่งผ่านในโนดข้างถนน
<i>hdr_poll</i>	แพ็กเก็ตร้องขอข้อมูลจากโนด(ยานพาหนะ)
<i>hdr_report</i>	แพ็กเก็ตรายงานข้อมูลจากโนด(ยานพาหนะ)
<i>hdr_request</i>	แพ็กเก็ตร้องขอข้อมูลจากโนดข้างถนน
<i>hdr_reply</i>	แพ็กเก็ตตอบกลับข้อมูลจากโนดข้างถนน
โมดการทำงาน	
<i>Broadcast_mode</i>	กระบวนการเก็บข้อมูลของโนดข้างถนน
<i>Activate_mode</i>	กระบวนการส่งผ่านข้อมูลการจราจร

3.2.2.2 ภาพรวมขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล

ในการออกแบบโปรโตคอลการส่งผ่านนี้ เป็นการออกแบบโปรโตคอลใน Application layer ภาพรวมการทำงานของโปรโตคอล จึงคำนึงในเลเยอร์นี้เท่านั้น ซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การทำงานของโนดข้างถนน และ การทำงานของโนด (ยานพาหนะ)

- ขั้นตอนการทำงานของโนดข้างถนน

แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนดข้างถนน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เริ่มจากในสภาวะเริ่มต้นนั้นโนดข้างถนนไม่มีข้อมูลการจราจร โหนดข้างถนนจึงทำการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอไปยังยานพาหนะทุกคันในระบบและรอรับการรายงานข้อมูลตอบกลับมาจากยานพาหนะทุกคันในระบบ หลังจากนั้น ก็ทำการตรวจสอบว่าตนเองอยู่ในสภาวะ broadcast หรือไม่ ถ้าอยู่ในสภาวะ broadcast ก็ทำการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอพร้อมกับข้อมูลการจราจรที่ประมวลผลได้ในรอบที่แล้วส่งออกไป และรอ



รูปที่ 3.4: แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนดข้างถนน

รับการรายงานข้อมูลจากยานพาหนะเพื่อใช้ในการประมวลผลและส่งกลับไปพร้อมกับแพ็กเก็ตการร้องขอ ในช่วงเวลาการส่งผ่านรอบต่อไป

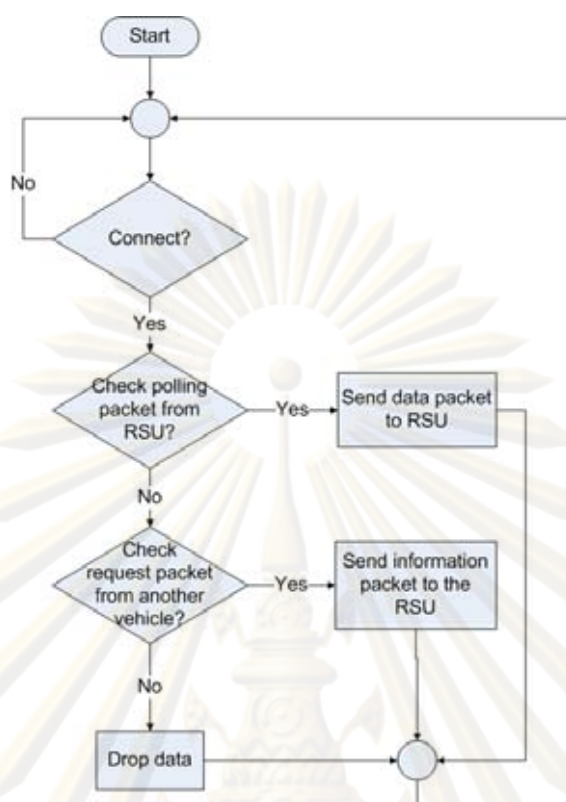
ในกรณีที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะ broadcast จะทำการตรวจสอบว่าได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจร (request information packet) หรือไม่ ถ้าได้รับ ก็ทำการส่งแพ็กเก็ตการตอบกลับข้อมูลการจราจร (reply information packet) กลับไปยังยานพาหนะนั้นๆ และถ้าเป็นแพ็กเก็ตชนิดอื่นๆ ก็จะทำการละทิ้งข้อมูลนั้นไป

- ขั้นตอนการทำงานของโนด(ยานพาหนะ)

แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เริ่มจากตรวจสอบว่ามี การเชื่อมต่อกับระบบหรือไม่ ถ้าเกิดการเชื่อมต่อกับระบบแล้ว หลังจากนั้นทำการตรวจสอบชนิดของแพ็กเก็ตที่ได้รับ ถ้าเป็นแพ็กเก็ตการร้องขอมาจากโนดข้างถนน จะรายงานข้อมูลกลับไปยังโนดข้างถนนถ้าไม่ใช่ จะทำการตรวจสอบว่าเป็นแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจรหรือไม่ ถ้าใช่ จะส่งแพ็กเก็ตนี้ไปยังโนดข้างถนน ถ้าไม่ใช่แพ็กเก็ตชนิดดังกล่าวนี้ ก็ทำการละทิ้งข้อมูลทันที

3.2.2.3 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเก็ต (“recv”) ของโปรโตคอลที่นำเสนอ

เมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาสู่โปรโตคอลจะทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งในขั้นตอน “recv” (receive) นี้ โปรโตคอลจะเริ่มการพิจารณาว่าเป็นแพ็กเก็ตชนิดใด ถ้าเป็นแพ็กเก็ตชนิดของโปรโตคอลการส่ง



รูปที่ 3.5: แผนผังลำดับภาพรวมการทำงานของโนด(ยานพาหนะ)

ผ่านนี้ ($PT_BroadcastBase$) โปรโตคอลจะลดค่า TTL ลง '1' แล้วส่งไปแยกชนิดของแพ็กเก็ตด้วยกระบวนการ "recvBroadcastBase" แต่ถ้าแพ็กเก็ตไม่ใช่แพ็กเก็ตดังกล่าวแล้วแต่เป็นแพ็กเก็ตข้อมูลชนิดอื่นๆ โปรโตคอลจะตรวจสอบว่าแพ็กเก็ตนี้ต้น (หมายเลขประจำโนดคือ $index$) เป็นผู้สร้างหรือไม่ (i.e. $saddr = index$) และ ไม่เคยได้รับการส่งแพ็กเก็ตนี้มาก่อน (i.e. $num_forward = 0$) อีกทั้งยังเป็นแพ็กเก็ตข้อมูล (คือไม่ใช่แพ็กเก็ตให้สัญญาณ ($IP_BROADCAST$)) โปรโตคอลจะกำหนดให้แพ็กเก็ตที่กำลังจะส่งออกไปเป็นครั้งแรกนี้มีค่า TTL เท่ากับค่า $NETWORK_DIAMETER$

$$NETWORK_DIAMETER = \max(\min(D(n_i, n_j))) \quad (3.2)$$

โดยที่

n_i คือ โหนดหมายเลข i โดยที่ i มีค่าเท่ากับ $1, 2, \dots$ จำนวนโนดในโครงข่าย

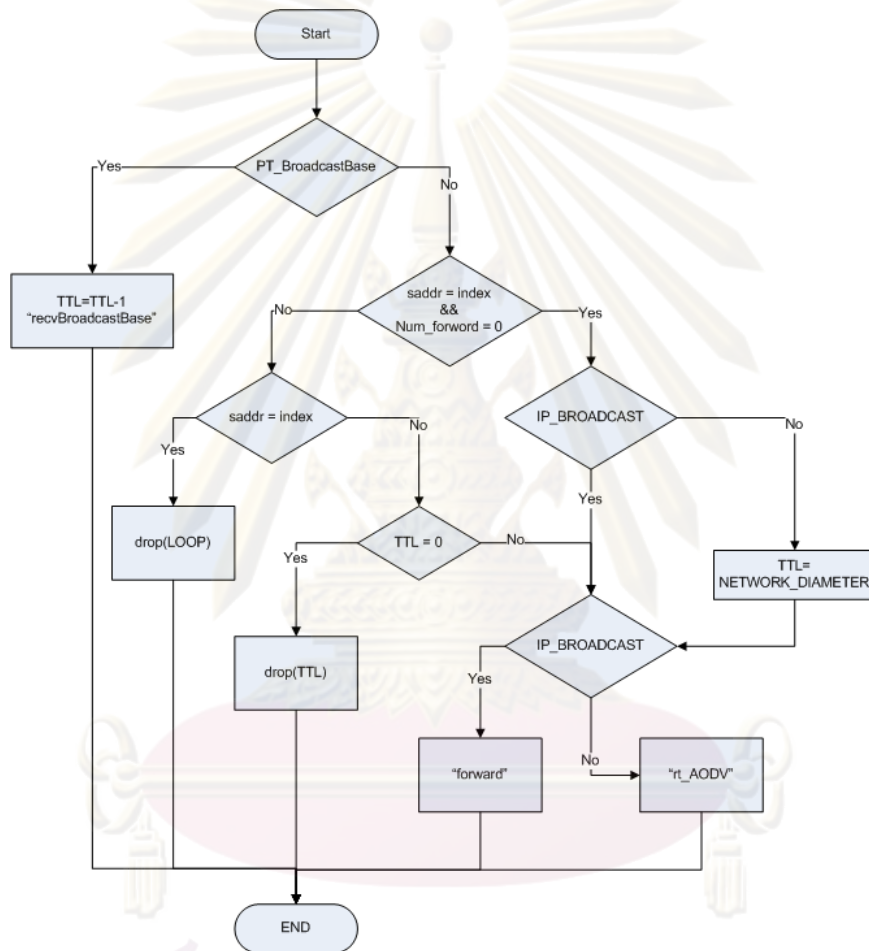
n_j คือ โหนดหมายเลข j โดยที่ j มีค่าเท่ากับ $1, 2, \dots$ จำนวนโนดในโครงข่าย

$D(x, y)$ คือ จำนวนฮอปของการส่งข้อมูล ระหว่างโนด x และ โหนด y

ในทางปฏิบัติค่า $NETWORK_DIAMETER$ นี้จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่สำหรับโครงข่ายขนาดหนึ่งๆ เพื่อพิจารณาว่า ถ้าเป็นผู้สร้างแพ็กเก็ตนี้ขึ้นมา แต่แพ็กเก็ตนี้ ถูกส่งกลับมา แสดงว่า เกิดการส่งเป็นลูบขึ้น โปรโตคอลจะทำการละทิ้งแพ็กเก็ตข้อมูลนี้ (drop(LOOP)) อีกทั้งถ้าแพ็กเก็ตข้อมูลที่เข้ามาใน

กระบวนการ “recv” แล้วมีค่า เท่ากับ '0' โพรโตคอลจะทำการละทิ้งแพ็กเก็ตนั้น (drop(TTL)) เนื่องจากว่าแพ็กเก็ตนั้นหมดอายุลง (TTL = 0)

อีกทั้งเมื่อโปรโตคอลต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนี้ออกไป โพรโตคอลจะส่งต่อการทำงานไปที่ โปรโตคอลการหาเส้นทางแบบ AODV (“rt_AODV”) ในระดับเลเยอร์โครงข่าย (Network Layer) แต่ถ้าเป็นแพ็กเก็ตชนิด *IP_BROADCAST* โพรโตคอลจะสั่งให้ “forward” โดยไม่ต้องมีการเตรียมเส้นทางใดๆ ซึ่งการส่งแพ็กเก็ตให้สัญญาณนี้จะเป็นการส่งต่อแบบแพ็กเก็ตแพร่กระจายสัญญาณ (Broadcast)

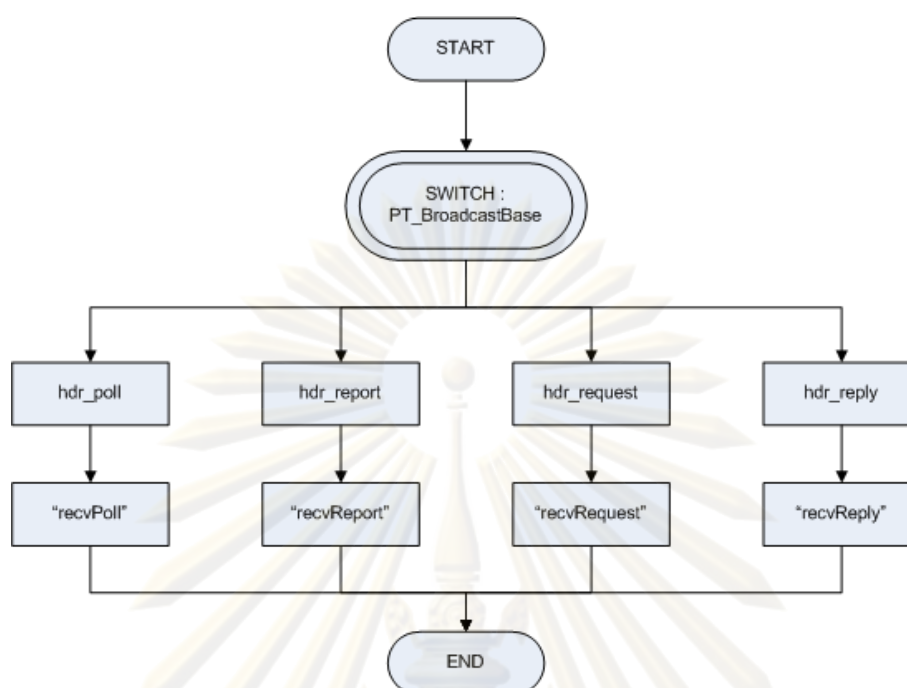


รูปที่ 3.6: แผนผังลำดับเมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ต (“recv”)

3.2.2.4 กระบวนการเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ต (“recvBroadcastBase”) ของโปรโตคอลที่นำเสนอ

แพ็กเก็ตที่ใช้ในโปรโตคอลการส่งข้อมูลนั้น *PT_BroadcastBase* มีทั้งหมด 4 ชนิด ดังแสดงใน รูปที่ 3.7 แสดงกระบวนการการรับแพ็กเก็ตโปรโตคอลการส่งผ่าน *PT_BroadcastBase* (“recvBroadcastBase”)

1. แพ็กเก็ตการร้องขอ (polling packet or *hdr_poll*)
2. แพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลจากยานพาหนะ (report data packet or *hdr_report*)



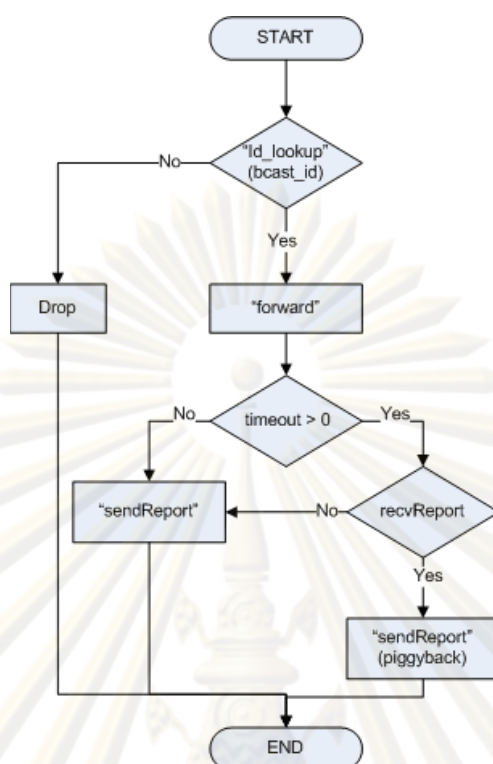
รูปที่ 3.7: แผนผังลำดับเมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ต(“ recvBroadcastBase ”)

3. แพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจร (request information packet or *hdr_request*)
4. แพ็กเก็ตการตอบกลับข้อมูลการจราจร (reply information packet or *hdr_reply*)

จากนั้นกระบวนการ “recvBroadcastBase” จะส่งต่อแพ็กเก็ตไปทำการต่าง ๆ ตามชนิดข้างต้นด้วยกระบวนการ “recvPoll”, “recvReport”, “recvRequest” และ “recvReply” ตามลำดับ ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

3.2.2.5 กระบวนการเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอจากโหนดข้างถนน (“recvPoll”)

กระบวนการ “recvPoll” ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอเข้ามา โหนดจะตรวจสอบว่าเคยได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอหรือไม่ ด้วยการเทียบกับหมายเลขแพ็กเก็ตกระจายสัญญาณ (bcast_id) แล้วทำการกระจายแพ็กเก็ตนี้ต่อไปโหนดข้างเคียง อีกทั้งโปรโตคอลจะตอบแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลจากยานพาหนะ (report data packet or *hdr_report*) ทั้งนี้โปรโตคอลจะทำการใด ๆ กับแพ็กเก็ตเพียงครั้งเดียว และโหนดจะละเลยแพ็กเก็ตที่ได้เคยดำเนินการไปแล้ว จากนั้นโปรโตคอลจะเริ่มกระบวนการตรวจสอบว่าแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลจากยานพาหนะถูกส่งมาจากโหนดข้างเคียง รอเป็นเวลา timeout ที่กำหนด ถ้าไม่มีก็ทำการส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดข้างถนน แต่ถ้ามี ก็ทำการต่อท้ายข้อมูลของตนเองกับโหนดข้างเคียงที่ส่งมาไปยังโหนดข้างถนนต่อไป



รูปที่ 3.8: แผนผังลำดับเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอจากโหนดข้างถนน (“recvPoll”)

3.2.2.6 กระบวนการเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลของยานพาหนะ (“recvReport”)

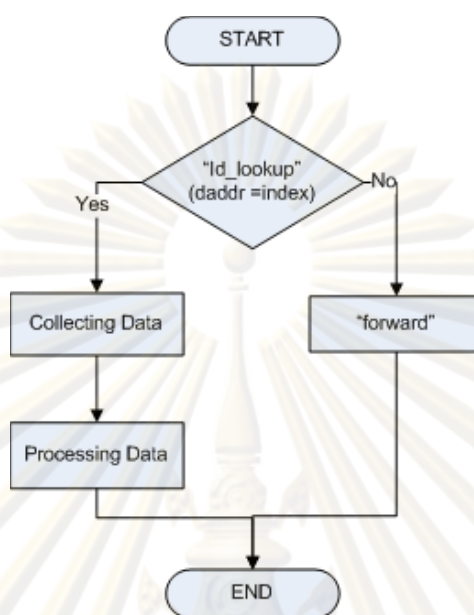
กระบวนการ “recvReport” ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลของยานพาหนะ โหนดจะทำการตรวจสอบว่าเป็นโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าเป็นแสดงว่าโหนดที่ได้รับคือโหนดข้างถนน จะทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้รับแล้วประมวลผลต่อไป ถ้าไม่ใช่โหนดปลายทาง ก็จะส่งแพ็กเก็ตต่อไปยังหมายเลขปลายทางที่ระบุไว้

3.2.2.7 กระบวนการเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจรจากยานพาหนะ (“recvRequest”)

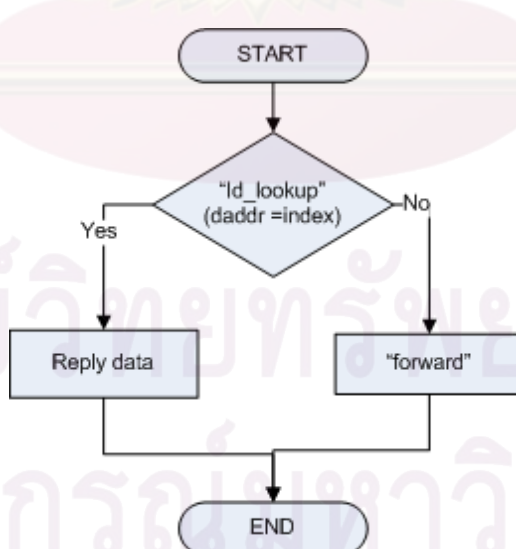
กระบวนการ “recvRequest” ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจรของยานพาหนะ โหนดจะทำการตรวจสอบว่าเป็นโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าเป็นแสดงว่าโหนดที่ได้รับคือโหนดข้างถนน จะทำการรายงานข้อมูลการจราจรที่มีอยู่ในขณะนั้น ถ้าไม่ใช่โหนดปลายทาง ก็จะส่งแพ็กเก็ตต่อไปยังหมายเลขปลายทางที่ระบุไว้

3.2.2.8 กระบวนการเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลการจราจรจากโหนดข้างถนน (“recvReply”)

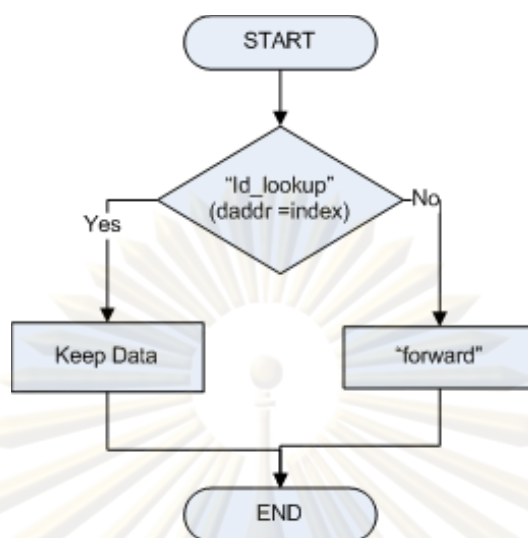
กระบวนการ “recvReply” ดังแสดงในรูปที่ 3.11 เมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ตการตอบกลับข้อมูลการจราจรของโหนดข้างถนน โหนดจะทำการตรวจสอบว่าเป็นโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าเป็นแสดงว่าโหนดนี้ได้ทำการร้องขอข้อมูลการจราจร ไปยังโหนดข้างถนนที่ต้องการทราบข้อมูลการจราจรในบริเวณที่สนใจ ถ้าไม่ใช่โหนดปลายทาง ก็จะส่งแพ็กเก็ตต่อไปยังหมายเลขปลายทางที่ระบุไว้



รูปที่ 3.9: แผนผังลำดับเมื่อโน้ตรับแพ็กเก็ตการรายงานข้อมูลของยานพาหนะ (“ recvReport ”)



รูปที่ 3.10: แผนผังลำดับเมื่อโน้ตรับแพ็กเก็ตการร้องขอข้อมูลการจราจร (“ recvRequest ”)



รูปที่ 3.11: แผนผังลำดับเมื่อโหนดรับแพ็กเก็ตเกิดการรายงานข้อมูลการจราจร (“recvReply”)

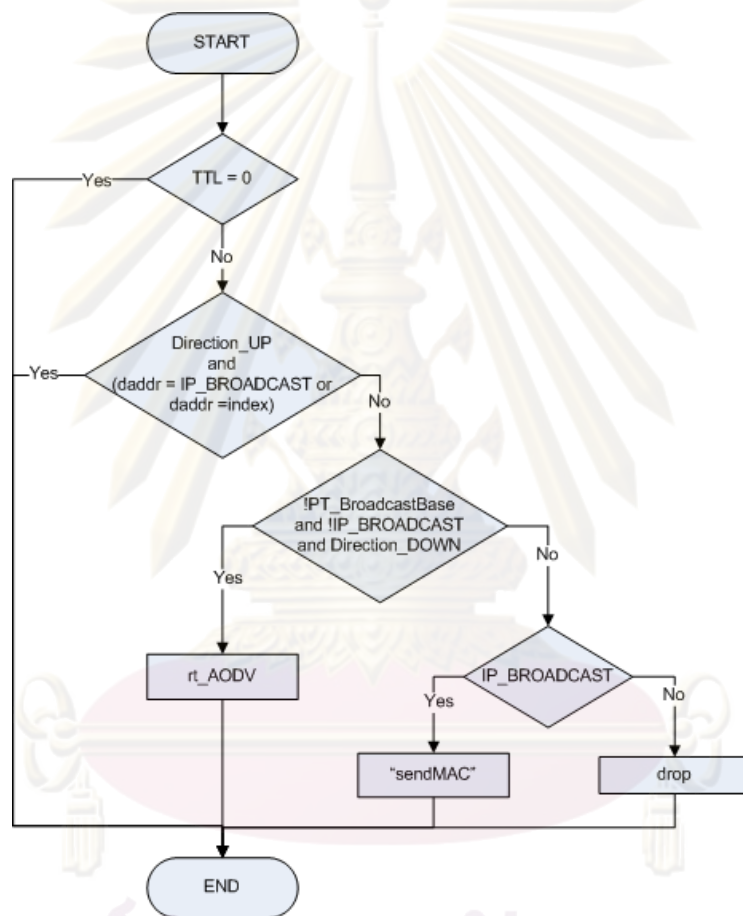
3.2.2.9 กระบวนการในการส่งต่อของโปรโตคอลการส่งผ่าน (“forward”) ของโปรโตคอลที่นำเสนอ

ดังรูปที่ 3.12 แสดงกระบวนการส่งต่อแพ็กเก็ต เมื่อมีแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งต่อ กระบวนการเริ่มจากการตรวจสอบค่า TTL ถ้ามีค่าเท่ากับ '0' จะไม่ทำการส่งต่อแพ็กเก็ต เนื่องจากแพ็กเก็ตได้หมดอายุลง นอกจากนี้โปรโตคอลมีการกรองแพ็กเก็ตข้อมูลว่ามีหมายเลขปลายทางเป็นของตนเองหรือไม่ ซึ่งโปรโตคอลในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC เมื่อทำการตรวจสอบแล้ว พบว่า แพ็กเก็ตนี้ มีหมายเลขปลายทางเป็นของตนเอง โปรโตคอลในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยจะเปลี่ยนค่าทิศทางของแพ็กเก็ต (packet direction) เป็น “Direction_UP”

แต่ถ้าไม่ใช่โหนดปลายทางโปรโตคอลจะส่งต่อแพ็กเก็ตในฐานะที่ตนเองเป็นโหนดระหว่างทาง (intermediate node) โดยส่งต่อการทำงานไปที่โปรโตคอลการหาเส้นทางแบบ AODV (“rt_AODV”) ในระดับเลเยอร์โครงข่าย (Network Layer) แต่ถ้าแพ็กเก็ตเป็นชนิดแพ็กเก็ตให้สัญญาณแบบ broadcast (IP_BROADCAST) โปรโตคอลจะส่งผ่านข้อมูลต่อไป ด้วยกระบวนการ (“sendMAC”) โดยไม่ต้องทำการหาเส้นทาง และในกรณีที่แพ็กเก็ตอื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะทำการละทิ้งแพ็กเก็ตนั้นไป

3.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล โดยนำโหนดข้างถนนมาติดตั้ง เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบแบบโครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่ในยานพาหนะดีซีเอ็น มีการอธิบายการทำงานของโปรโตคอล โดยมีจุดประสงค์ให้โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนี้ มีอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตมีความสำเร็จสูงขึ้น อัตราส่วนการสูญเสียแพ็กเก็ตมีค่าลดลง ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมน้อยลง และปริมาณทราฟฟิกในระบบมีค่าต่ำลง เมื่อนำโหนดข้างถนนมาติดตั้งในระบบ เพื่อให้เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลการจราจร อีกทั้งมีการพิจารณาถึงในสภาวะบนท้องถนนที่มียานพาหนะหนาแน่น และสภาวะบนท้องถนนที่มียานพาหนะหนาแน่น



รูปที่ 3.12: แผนผังลำดับแสดงกระบวนการในการส่งต่อของโปรโตคอลการส่งผ่าน (“forward”) ของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สภาพแวดล้อมของการจำลอง ผลการจำลองและวิเคราะห์ผลการจำลองระบบ

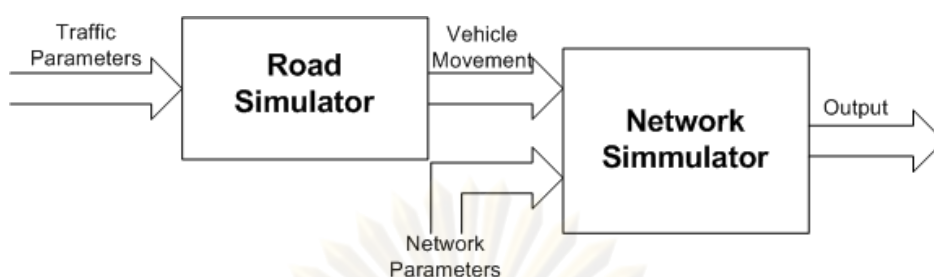
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 สำหรับส่วนแรกของบทนี้ กล่าวถึงสภาพแวดล้อมของการจำลอง ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ในการจำลองการทดสอบและพารามิเตอร์สำหรับการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลที่นำเสนอ ตลอดจนทอพอโลยีที่ใช้ในการทดสอบสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และในส่วนที่สองกล่าวถึงผลการจำลองและการวิเคราะห์ผลการทดสอบของวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีในดข้างถนนว่ามีสมรรถนะที่ดีกว่าหรือด้อยกว่าอย่างไรเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.1 สภาพแวดล้อมของการจำลอง (Simulation Environment)

ในการทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งสมรรถนะของโปรโตคอลจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการจำลองภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน เพื่อสร้างสถานการณ์ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง จึงมีการพิจารณารูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ของโหนด (ยานพาหนะ) แบบ car-following model (ตามที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 2) ซึ่งโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสาร ไม่สามารถจำลองสถานการณ์ดังกล่าวได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ มีการใช้โปรแกรมในการจำลองระบบทั้งหมด 3 โปรแกรม ได้แก่

- Network Simulator 2 (NS-2) เวอร์ชัน 2.33 [17] ซึ่งเป็นโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารแบบตามลำดับเหตุการณ์ (Discrete Event Simulation)
- Simulation of Urban MObility (SUMO) [18] ซึ่งเป็นโปรแกรมการจำลองระบบการจราจรประเภทจุลภาคที่ใช้การวิเคราะห์ที่ค่อนข้างละเอียดแบบค้นต่อค้น
- Traffic and Network Simulation Environment (TraNs) [19] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำให้ โปรแกรม SUMO และ NS-2 ทำงานร่วมกันได้ เนื่องจากรูปแบบไฟล์จากการจำลองโปรแกรม SUMO ไม่สามารถนำไปใช้งานในโปรแกรม NS-2 ได้ โปรแกรม TraNS จึงเป็นตัวกลางในการทำงานของ 2 โปรแกรมนี้ โดยเปลี่ยนรูปแบบไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม SUMO ได้แก่ ข้อมูลที่แสดงการเคลื่อนที่ของโหนด เข้าสู่โปรแกรม NS-2 ต่อไป

ในรูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานระหว่างโปรแกรมการจำลองระบบการจราจร และ โปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสาร เริ่มจากการป้อนพารามิเตอร์เข้าสู่โปรแกรมการจำลองระบบการจราจร หลังจากนั้นเมื่อได้ข้อมูลที่แสดงการเคลื่อนที่ของโหนดจากการจำลองระบบการจราจรแล้ว มีการป้อนข้อมูลนี้เข้าไปพร้อมกับพารามิเตอร์การจำลองระบบการสื่อสาร เพื่อจำลองระบบการสื่อสารต่อไป



รูปที่ 4.1: แสดงการจำลองของระบบ

4.1.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทดสอบ

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก เป็นพารามิเตอร์การจำลองระบบการจราจร โดยมีการสร้างถนนความยาว 2 กิโลเมตร สำหรับโหนดข้างถนน 1 โหนดต่อ 1 เซลล์เสมือน ใช้รูปแบบการเคลื่อนที่แบบ car-following model มีช่องทางการเดินแบบ 1 ช่องทางกับ 2 ช่องทางเดิน ที่ยานพาหนะวิ่งสวนทางกัน โดยแบ่งการเคลื่อนที่ของโหนดออกเป็น สองสภาวะ คือ ในสภาวะที่โหนดมีจำนวนเบาบาง แทนด้วยจำนวน 10, 20, 30, 40, และ 50 โหนด และสภาวะที่โหนดมีจำนวนหนาแน่นอยู่บนท้องถนน แทนด้วยจำนวน 100, 150, 200, 250, และ 300 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สำหรับส่วนที่สองนั้น เป็นการจำลองระบบการสื่อสาร เนื่องจากการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนั้น ขึ้นกับสภาพแวดล้อมในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบจะไม่คำนึงถึงพลังงานที่สูญเสียไปในการส่งแพ็กเก็ต ทำให้โหนดสามารถส่งแพ็กเก็ตได้ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ และ กำหนดให้โหนด มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1: พารามิเตอร์ในการจำลองโปรแกรม SUMO

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(วินาที)	900
รูปแบบการเคลื่อนที่	car-following model
ความเร็วสูงสุดของโหนดในการเคลื่อนที่(เมตรต่อวินาที)	30 50
จำนวนโหนดที่ทดสอบ	10,20,30,40,50 100,150,200,250,300
จำนวนช่องทางการเดิน	1, 2
ความยาวของถนน(กิโลเมตร)	2

4.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะของโปรโตคอล

การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลที่นำเสนอ นั้น มีพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของการออกแบบโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

ตารางที่ 4.2: พารามิเตอร์ในการจำลองโปรแกรม NS-2

เวลาที่ใช้ในการทดสอบ(วินาที)	900
จำนวนครั้งที่ทดสอบ(ครั้ง)	30
ขนาดของแพ็กเก็ต(ไบต์)	64,128,256,512,1024
จำนวนโหนดที่ทดสอบ	10,20,30,40,50 100,150,200,250,300
รัศมีของการสื่อสาร(เมตร)	200
โปรโตคอลการจัดสรรเส้นทาง	AODV
โปรโตคอลการเข้าถึงตัวกลาง	IEEE802.11

- อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ (Data Received Ratio หรือ *DRR*) สามารถคำนวณได้จาก จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่โหนดทั้งหมดรับสำเร็จในระบบต่อจำนวนแพ็กเก็ตที่โหนดทั้งหมดส่งสำเร็จในระบบ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%) ดังแสดงในสมการที่ (4.1)

$$DRR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ

R_i คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ได้รับสำเร็จในแต่ละโหนด i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., N

S_i คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งสำเร็จในแต่ละโหนด i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., N

N คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในระบบ

- ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม (Total Dissemination Time หรือ *TDT*) หมายถึงเวลาที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลในระบบทั้งหมด คำนวณจาก ช่วงเวลาที่โหนดแรกเริ่มส่งแพ็กเก็ตจนถึงเวลาที่โหนดสุดท้ายได้รับแพ็กเก็ตเทียบกับอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตสำเร็จในพารามิเตอร์ข้างต้น มีหน่วยเป็น วินาที (s) ดังแสดงในสมการที่ (4.2)

$$TDT(s) = \frac{T_f - T_i}{DRR} \times 100 \quad (4.2)$$

เมื่อ

T_i คือ เวลาเริ่มต้นการส่งผ่านข้อมูลของโหนดแรกที่ส่งแพ็กเก็ตในระบบ

T_f คือ เวลาสิ้นสุดการส่งผ่านข้อมูลของโหนดสุดท้ายที่ได้รับแพ็กเก็ตในระบบ

DRR คือ อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ

- อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต (Packet Loss Ratio หรือ *PLR*) สามารถคำนวณได้จาก จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่โหนดทั้งหมดส่งไม่สำเร็จในระบบต่อจำนวนแพ็กเก็ตที่โหนดทั้งหมดส่งสำเร็จในระบบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ดังแสดงในสมการที่ (4.3)

$$PLR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \times 100 \quad (4.3)$$

เมื่อ

L_i คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งไม่สำเร็จในแต่ละโหนด i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., N

S_i คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ได้ส่งสำเร็จในแต่ละโหนด i มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., N

- ปริมาณทราฟฟิกในระบบ (Traffic Load หรือ *TL*) สามารถคำนวณได้จากจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดส่งสำเร็จในระบบ มีหน่วยเป็น แพ็กเก็ตดังแสดงในสมการที่ (4.4)

$$TL(packet) = \sum_{i=1}^N S_i \quad (4.4)$$

- ปริมาณงาน (Throughput หรือ *TP*) หมายถึงปริมาณงานที่ทำให้ช่วงเวลาหนึ่ง สามารถคำนวณจากขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลเทียบกับเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม มีหน่วยเป็น ไบต์ต่อวินาที ดังแสดงในสมการที่ (4.5)

$$TP(byte/s) = \frac{PS}{TDT} \quad (4.5)$$

เมื่อ

PS คือ ขนาดของข้อมูลที่ถูกส่งไปในระบบ (packet size)

TDT คือ ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม

4.2 ทอพอโลยีที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบต้องการทราบถึงสมรรถนะในสภาวะต่าง ๆ กัน ซึ่งทอพอโลยีที่ใช้ในการทดสอบมี 4 ทอพอโลยี โดยในแต่ละทอพอโลยีมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ ในทอพอโลยีแบบที่ 1 เป็นแบบ 1 ช่องทางเดิน ทอพอโลยีแบบที่ 2 เป็นแบบ 2 ช่องทางเดินที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่สวนทางกัน ซึ่งทอพอโลยีทั้งสองแบบนี้ ไม่มีโหนดข้างถนนอยู่ในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนทอพอโลยีแบบที่ 3 เป็น 1 ช่องทางเดิน และทอพอโลยีแบบที่ 4 เป็นแบบ 2 ช่องทางเดินที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่สวนทางกัน ซึ่งทอพอโลยีทั้งสองแบบนี้ มีการติดตั้งโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

การทำงานของทอพอโลยีแบบที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบ สมมติให้ยานพาหนะบนท้องถนนทุกคัน มีความต้องการทราบข้อมูลการจราจร ทำให้ต้องมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะด้วยกันทุกคันในระบบ เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลจากยานพาหนะแล้วนำมาประมวลผลเพื่อประเมินสภาพการจราจรบนท้องถนนที่เกิดขึ้นเองในแต่ละโนด มีความแตกต่างกับการทำงานของทอพอโลยีแบบที่ 3 และ 4 ที่มีการติดตั้งโนดข้างถนนเข้ามาในระบบ ซึ่งเมื่อยานพาหนะต้องการทราบข้อมูลการจราจรบนท้องถนนแล้ว จะมีการติดต่อสื่อสารกับโนดข้างถนน โดยโนดข้างถนนจะทำการร้องขอข้อมูลไปยังยานพาหนะทุกคันในระบบ เพื่อรวบรวมข้อมูลจากยานพาหนะแล้วทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อประเมินสภาพการจราจร เสมือนว่า มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบเพื่อเป็นตัวกลางในการให้ข้อมูลการจราจรที่เกิดขึ้น ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลการส่งผ่านนี้ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 3



รูปที่ 4.2: แบบจำลองเมื่อไม่มีโนดข้างถนนเพิ่มเข้ามาในระบบ แบบ 1 ช่องการเดิน และ 2 ช่องการเดิน



รูปที่ 4.3: แบบจำลองเมื่อมีโนดข้างถนนเพิ่มเข้ามาในระบบ แบบ 1 ช่องการเดิน และ 2 ช่องการเดิน

4.3 ผลการทดสอบของโปรโตคอลที่นำเสนอ

4.3.1 การจำลองเบื้องต้น

ในเบื้องต้นนี้การจำลองของระบบนี้ ทำขึ้นเพื่อประเมินระยะเวลาโดยรวมของการส่งผ่านข้อมูลใน 1 เซลล์ เนื่องจากว่าถนนจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์เสมือนเล็ก ๆ ที่แบ่งตามโนดข้างถนน ในกรณีนี้จึงพิจารณากรณีที่มีโนดข้างถนน 1 โหนดว่าใช้ระยะเวลาการส่งผ่านข้อมูลเท่าไร เมื่อพิจารณาทอพอโลยีแบบที่ 1 กรณีที่มีถนน 1 ช่องทางเดิน และทอพอโลยีแบบที่ 2 กรณีที่มีถนน 2 ช่องทางเดินที่ยานพาหนะสามารถสวนทางได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งมีจำนวนโนดบนถนน 5 โหนด และ 10 โหนด ตามลำดับ เปรียบเทียบกับทอพอโลยีแบบที่ 3 และ 4 ที่มีโนดข้างถนนกรณีที่มีถนน 1 ช่องทางเดิน และ 2 ช่องทางเดิน กรณีที่มีโนดข้างถนนตามโปรโตคอลที่ออกแบบไว้ทำให้มีจำนวนเป็น 5+1 โหนด และ 10+1 โหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เพื่อให้ระบบจัดการได้ง่ายขึ้น ระบบจำลองนี้ได้สมมติให้ยานพาหนะไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อให้ระยะเวลาของการส่งแพ็กเก็ตในระดับชั้นโครงข่ายไม่มีผลกระทบต่อการศึกษา โดยการใช้ค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมตามตารางที่ 4.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาในเรื่องของสเกลเวลาในการสื่อสารกับสเกลเวลาในการเคลื่อนที่

ของยานพาหนะมีหน่วยที่ ต่างกันมากจนทำให้สเกลของเวลา ในการสื่อสารนั้น เสมือนว่ายานพาหนะมีการหยุดนิ่ง

ตารางที่ 4.3: พารามิเตอร์เพิ่มเติมในการจำลองโปรแกรม NS-2 สำหรับกรณีการจำลองเบื้องต้น

ทราฟฟิกที่ใช้ในการทดสอบ	Constant Bit Rate (CBR)
ขนาดของแพ็กเก็ต(ไบต์)	1024
ขนาดกลุ่มข้อมูล (กิโลไบต์)	10,50,100,150,200
รัศมีของการสื่อสาร(เมตร)	200

เมื่อโนดข้างถนนทำการส่งผ่านข้อมูลออกไป โหนดที่อยู่ในระยะการส่งทุกโนดจะต้องทำการรับแพ็กเก็ตดังกล่าวเพื่อนำไปประมวลผลเป็นข้อมูลการจราจร เนื่องจากแพ็กเก็ตนี้เป็นแพ็กเก็ตที่ไม่ได้ระบุถึงที่อยู่ของผู้รับไว้

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 4.4 คือค่าเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งมีขนาดของกลุ่มข้อมูล 10, 50, 100, 150 และ 200 กิโลไบต์ ตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็นกรณีที่มีโนดข้างถนน (5+1โนด และ 10+1 โหนด) และกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนน (5 โหนด และ 10 โหนด) มีหน่วยเป็นวินาที จากผลที่แสดงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อขนาดของกลุ่มข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทำให้มีแนวโน้มของเวลาที่เพิ่มตาม เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกรณีที่มีโนดข้างถนนกับกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนนั้น มีระยะเวลาที่มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.4: เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล

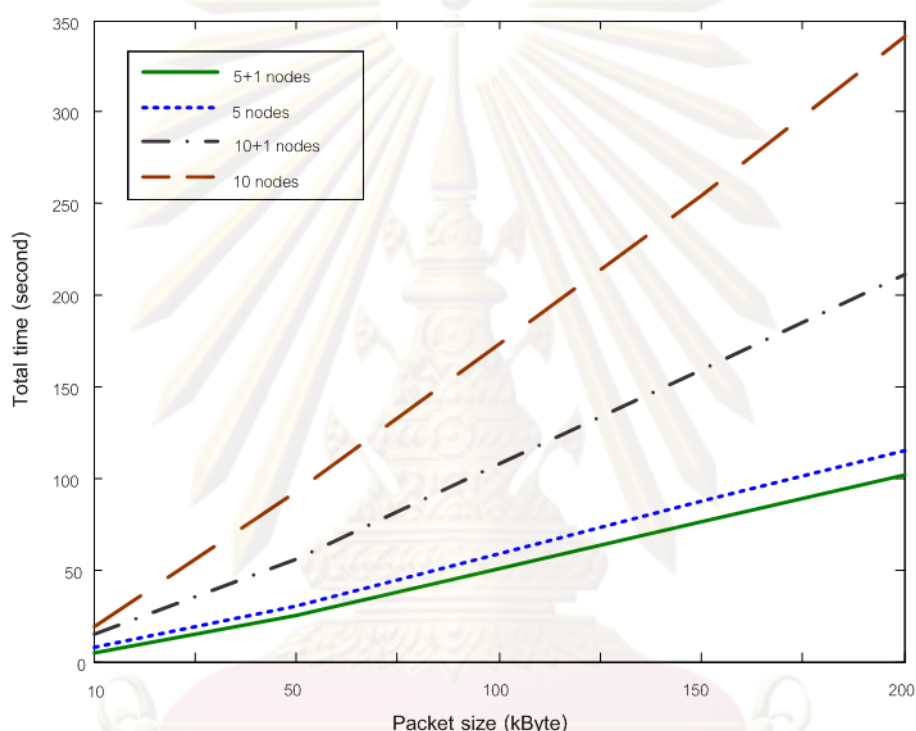
ขนาดของ กลุ่มข้อมูล(KB)	เวลาที่ใช้(s)			
	5+1 โหนด	5 โหนด	10+1 โหนด	10 โหนด
10	8.661	6.526	14.802	6.698
50	29.144	25.286	56.007	28.616
100	54.738	50.902	107.772	53.886
150	80.334	77.032	157.509	78.037
200	105.939	102.734	208.711	105.078

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 4.5 คือค่าของอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ คำนวณมาจากจำนวนแพ็กเก็ตของข้อมูลที่โนดปลายทางได้รับสำเร็จต่อปริมาณไหลดของบริการที่โนดต้นทางตามขนาดกลุ่มข้อมูล 10, 50, 100, 150 และ 200 กิโลไบต์ ตามลำดับ โดยรวมของทั้งระบบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าขนาดของกลุ่มข้อมูลที่เพิ่มทำให้ค่าอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ต ข้อมูลสำเร็จมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนมีอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตที่มีค่าต่ำกว่า 50 % และกรณีที่มีโนดข้างถนนนั้น มีอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตที่สูงกว่ามาก เนื่องมาจากว่าในกรณีที่มีโนดข้างถนนนั้น โหนดข้างถนน ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล

เมื่อพิจารณาในเรื่องของการใช้ระยะเวลาการส่งผ่านโดยรวมของระบบ เทียบกับขนาดของกลุ่มข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.4 นั้น ซึ่งมีการคำนวณมาจากค่าเวลาที่ส่งจากตารางที่ 4.4 เทียบกับอัตราการ

ตารางที่ 4.5: อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ

ขนาดของ กลุ่มข้อมูล(KB)	อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ (%)			
	5+1 โหนด	5 โหนด	10+1 โหนด	10 โหนด
10	93.33	75.00	95.50	35.77
50	94.93	74.70	98.36	30.95
100	95.13	77.00	98.65	31.03
150	95.16	78.40	98.67	30.73
200	95.23	78.90	98.66	30.80



รูปที่ 4.4: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและจำนวนโหนด

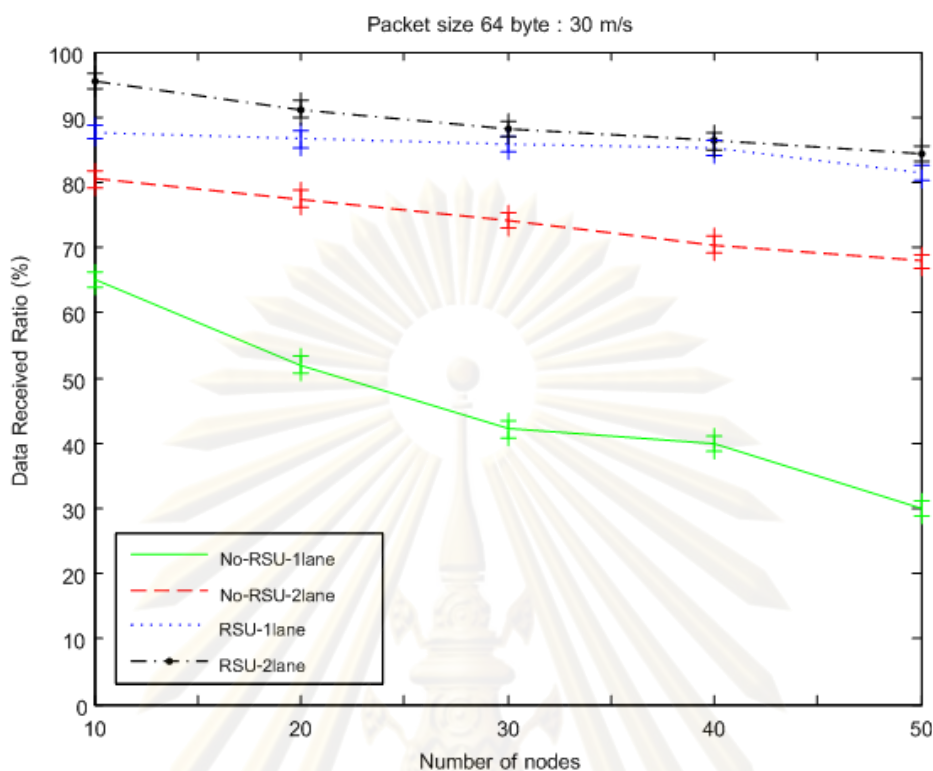
รับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จจากตารางที่ 4.5

ผลที่แสดงในรูปที่ 4.4 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ในกรณีที่มีโหนดข้างถนนเข้ามาช่วยจัดการการส่งผ่านข้อมูลนั้น ทำให้มีเวลาโดยรวมของระบบในกรณี 1 ช่องทางการเดินมี 5 โหนด เทียบกับกรณีที่มี 5+1 โหนด (รวมโหนดข้างถนน) เวลาที่ใช้มีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ส่วนในกรณี 2 ช่องทางการเดินที่มี 10 โหนด กับกรณีที่มี 10+1 โหนด (รวมโหนดข้างถนน) เวลาที่ใช้มีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่า

สรุปในการทดสอบนี้ ทำให้ทราบว่า เมื่อมีโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ ทำให้สมรรถนะของเวลาการส่งผ่านโดยรวมของระบบ มีค่าที่น้อยลง กว่า สถานะที่ไม่มีโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ

4.3.2 โครงสร้างแบบจำลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนโหนดในระบบ

เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้นเป็นการทดสอบขณะที่โหนดหยุดนิ่ง ในส่วนนี้ได้พิจารณาถึงกรณีที่โหนดมีการเคลื่อนที่ มีการจำลองโหนด โดยใช้โปรแกรม SUMO จำลองการเคลื่อนที่ของโหนดเป็นแบบ car-



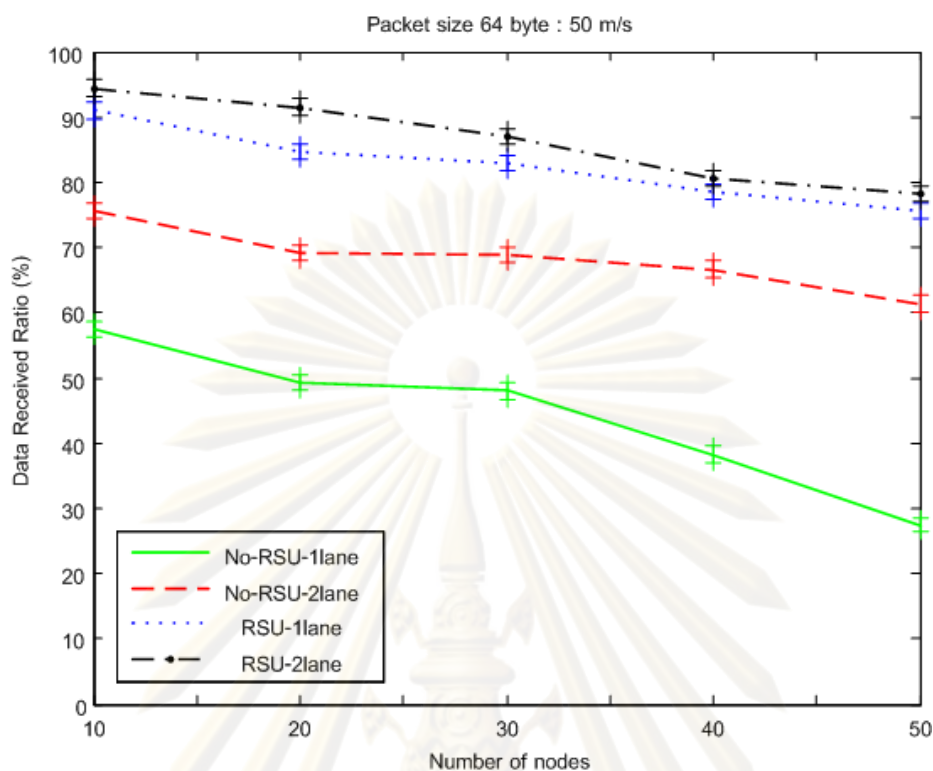
รูปที่ 4.5: อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ในกรณีสถานะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

following model ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 โดยแบ่งการจำลองออกเป็นสองกรณี คือในสถานะที่มีจำนวนโนดเบาบาง แทนด้วยจำนวนโนด 10, 20, 30, 40 และ 50 โหนด สำหรับกรณีสถานะที่มีจำนวนโนดหนาแน่น แทนด้วยจำนวนโนด 100, 150, 200, 250 และ 300 โหนด

4.3.2.1 ในสถานะที่มีจำนวนโนดเบาบาง

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของการทดสอบจำนวนที่อยู่ในระบบในสถานะที่มีโนดเบาบาง แทนด้วยจำนวนโนด 10, 20, 30, 40 และ 50 โหนดบนท้องถนน มีการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลตามทอพอโลยีทั้ง 4 แบบ ข้างต้น โดยผลของการทดสอบที่อยู่ในรูปอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต และปริมาณทราฟฟิกในระบบ ซึ่งการจำลองนี้ ใช้กลุ่มข้อมูลขนาด 64 ไบต์ในการส่งข้อมูล มีการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที และไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.5 , 4.6 แสดงถึงอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จโปรโตคอลส่งผ่านข้อมูล ที่มีแกน Y เป็นอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และแกน X เป็นจำนวนโนดที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 10, 20, 30, 40 และ 50 โหนดจะเห็นได้ว่าในทอพอโลยีแบบที่ 3 และ 4 อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตสำเร็จมีค่าสูงกว่า อยู่ที่ประมาณ 80-95 % ซึ่งในทอพอโลยีแบบที่ 1 และ 2 มีค่าอยู่สูงที่สุดประมาณ 80 % ซึ่งอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตในทอพอโลยีแบบที่ 2 นั้น มีแนวโน้มไม่เหมือนกัน เนื่องจาก ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน และเคลื่อนที่ห่างกัน ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จึงเกิด

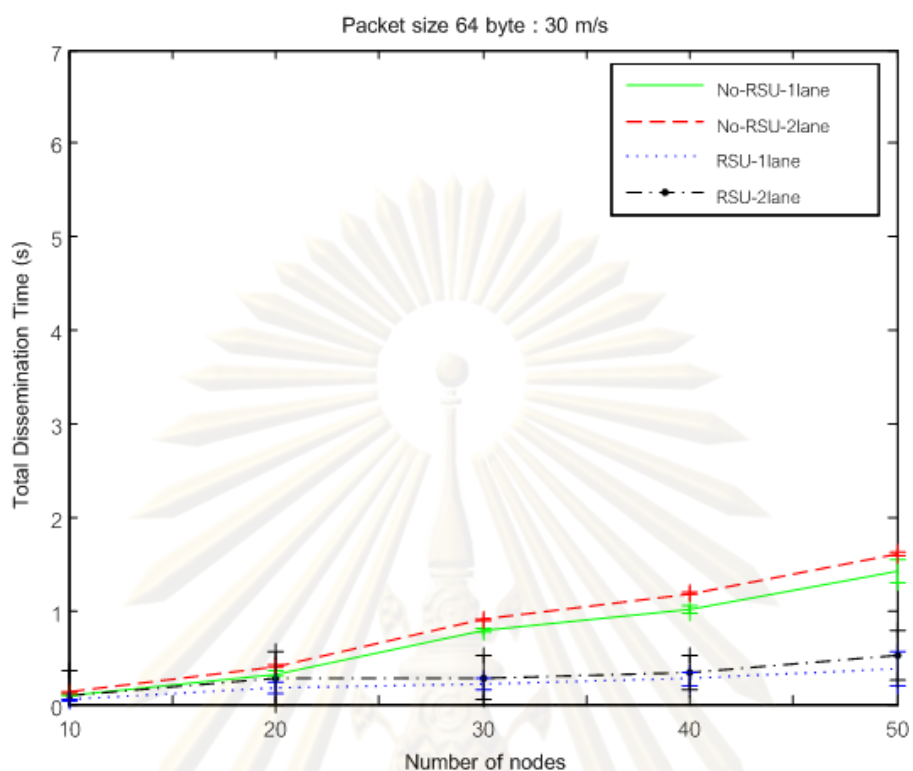


รูปที่ 4.6: อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ในกรณีสถานะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที

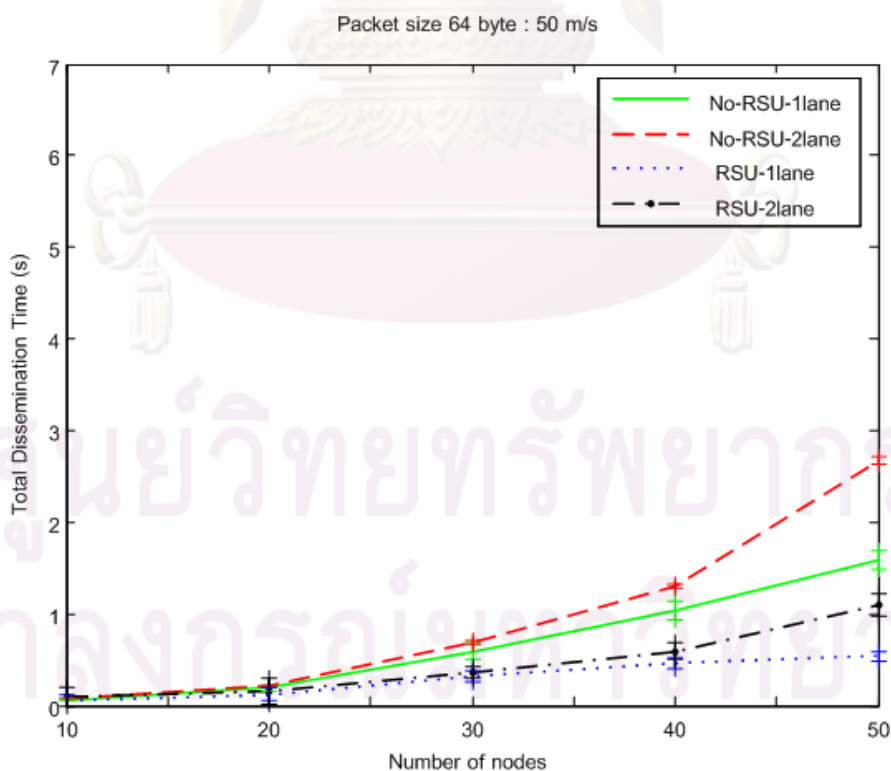
การขาดติดต่อกันในการสื่อสาร ค่า อัตราส่วนการรับ จึงให้ค่าที่ไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ชัดเจน

อีกทั้ง ถ้าพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้ อัตราส่วนแพ็กเก็ตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเก็ตทั้งหมดมีค่าไม่ถึง 100 % เกิดจากสาเหตุที่มีการละทิ้งและการสูญหายของแพ็กเก็ต ขณะที่โปรโตคอล AODV จะเลือกโนดผู้รับรายถัดไปจากเส้นทางที่มีอยู่ ทั้งนี้เกิดจากไม่ทราบสภาพการเชื่อมต่อได้กับโนดข้างเคียง ถึงแม้ว่าจะมีการส่งสัญญาณหักทหายเพื่อปรับปรุงสภาพการเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงทุกคาบเวลาหนึ่งๆ แล้วก็ตาม ส่งผลให้โนดผู้รับรายถัดไปที่เลือกจากเส้นทางนั้นอาจจะเคลื่อนออกจากระยะรัศมีการส่งข้อมูลไปแล้ว ทำให้เส้นทางที่เลือกไว้ก่อนหน้านั้นใช้การไม่ได้ ขณะที่ชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC พยายามส่งแพ็กเก็ต RTS เป็นจำนวนหนึ่ง และโนดก็ยังคงรอการตอบแพ็กเก็ต CTS และเก็บแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งไว้ จนกระทั่งแพ็กเก็ตนั้นหมดอายุ หรือไม่การไม่ได้รับแพ็กเก็ตหักทหายจากโนดข้างเคียง ที่ขาดการติดต่อไปในช่วงเวลาที่กำหนด

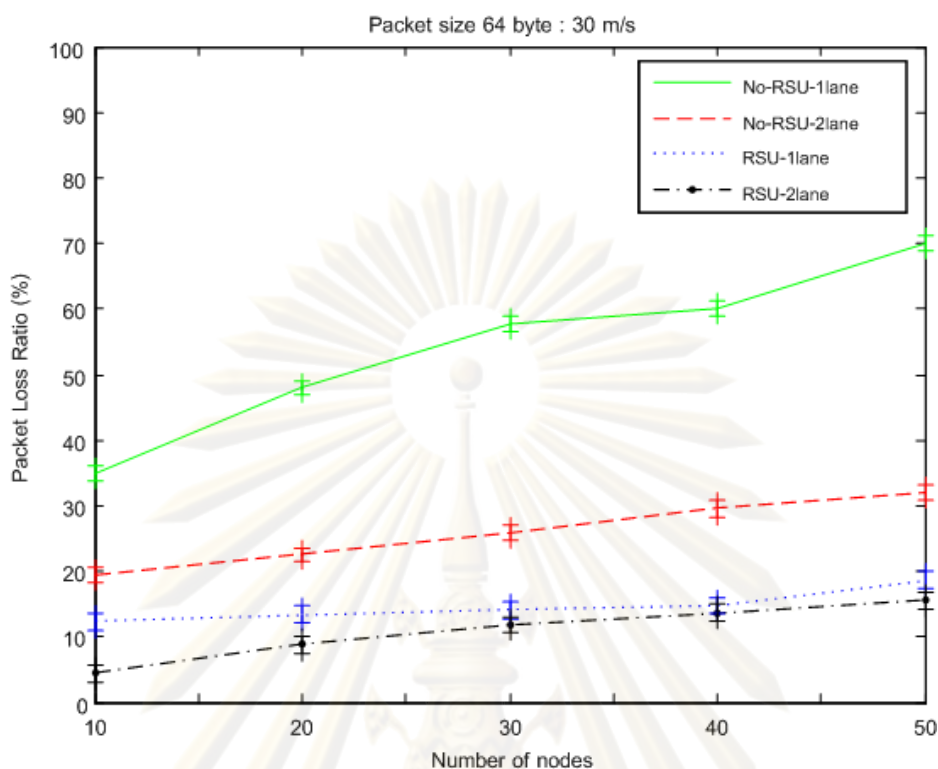
จากรูปที่ 4.7, 4.8 มีการพิจารณาว่า การส่งผ่านข้อมูลใช้เวลาเป็นอย่างไร โดยที่แกน Y เป็นค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม มีหน่วยเป็นวินาที และแกน X เป็นจำนวนโนดที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 10, 20, 30, 40 และ 50 โนด มีการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที และไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาทีพบว่า ในสถานะที่ไม่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบ ทั้ง 1 ช่องทางการเดิน และ 2 ช่องทางการเดินนั้น ใช้เวลาค่าที่สูงกว่าในสถานะมีโนดข้างถนน แต่เมื่อเวลาผ่านไปนั้น โนดมีการขาดการติดต่อ เนื่องจากโนดได้เคลื่อนที่ออกห่างจากโนดข้างถนน จำเป็นต้องติดต่อสื่อสาร ผ่านโนด



รูปที่ 4.7: เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม ในกรณีสภาวะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.8: เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม ในกรณีสภาวะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.9: อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต ในกรณีสถานะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

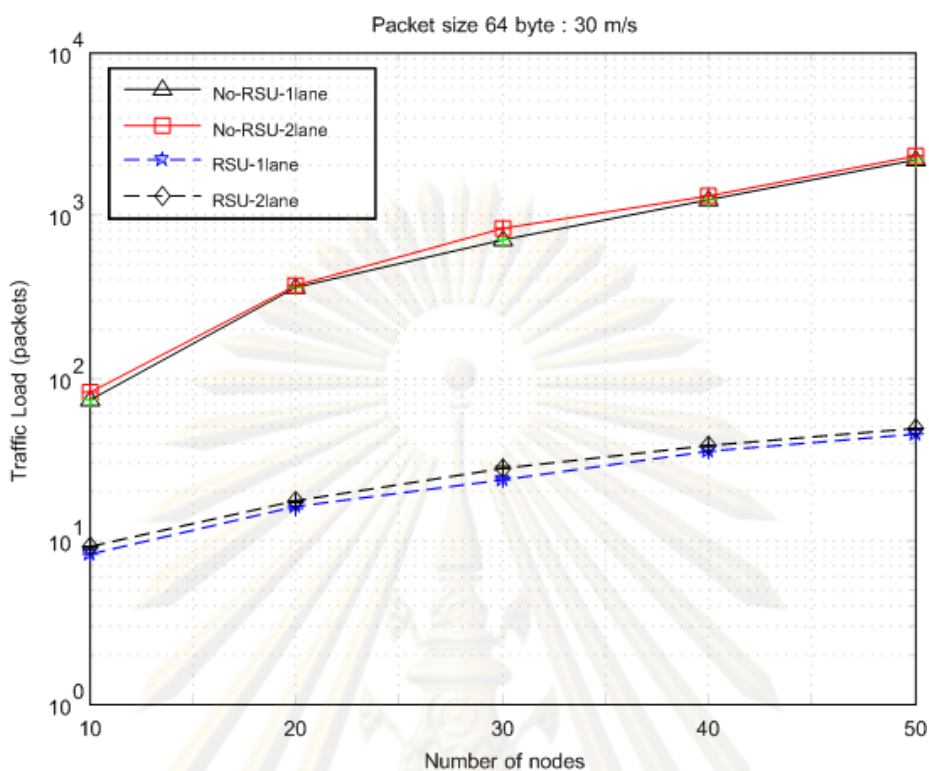
อื่นๆ กลับมา มีโอกาสสูงที่แพ็กเก็ตจะเกิดการสูญหายไประหว่างโนด ทำให้ใช้เวลาในการส่งผ่านข้อมูลมากขึ้น อีกทั้ง สังเกตได้ว่า แนวโน้มของระบบที่ไม่มีโนดข้างถนนนั้น มีความชันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่า ในระบบที่มีโนดข้างถนนเข้ามา เนื่องจากแนวโน้มของความชันไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

จากรูปที่ ?? มีการพิจารณาว่า อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเป็นอย่างไร โดยที่แกน Y เป็นอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต มีหน่วยเป็นแพ็กเก็ต และแกน X เป็นจำนวนโนดที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 10, 20 ,30, 40 และ 50 โหนด มีการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที พบว่า ในสถานะที่ไม่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้วทำให้อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตมีค่าสูงชันมากเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบ

จากรูปที่ 4.10 มีการพิจารณาว่า ปริมาณกราฟฟิกในระบบเป็นอย่างไร โดยที่แกน Y เป็นปริมาณกราฟฟิกในระบบ มีหน่วยเป็นแพ็กเก็ต และแกน X เป็นจำนวนโนดที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 10, 20 ,30, 40 และ 50 โหนด มีการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อมีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้ว ช่วยทำให้ระบบมีปริมาณกราฟฟิกลดลงอย่างมาก

4.3.2.2 ในสถานะที่มีจำนวนโนดบนท้องถนนหนาแน่น

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบเมื่อพิจารณาถึงกรณีเมื่อมีโนดหนาแน่นบนท้องถนนแล้ว สมรรถนะของโปรโตคอลที่ออกแบบนั้นจะมีลักษณะเป็นอย่างไร โดยมีการทดสอบตามทอพอโลยีทั้ง 4 แบบ ข้างต้น ซึ่ง

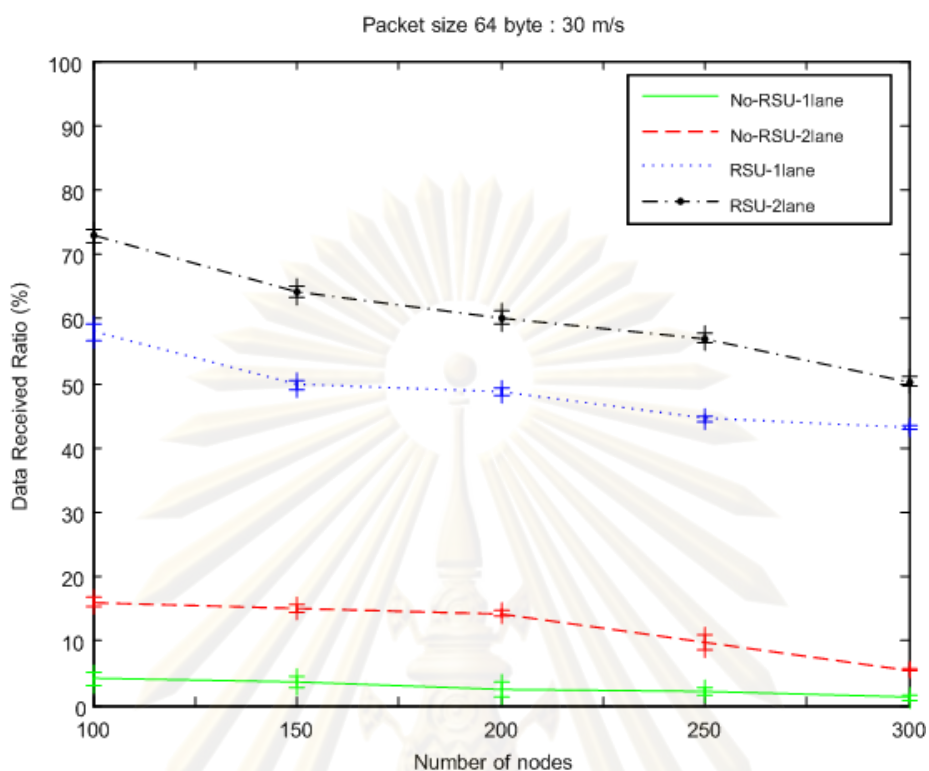


รูปที่ 4.10: ปริมาณทราฟฟิกในระบบ ในกรณีสถานะที่มีโนดเบาบางบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

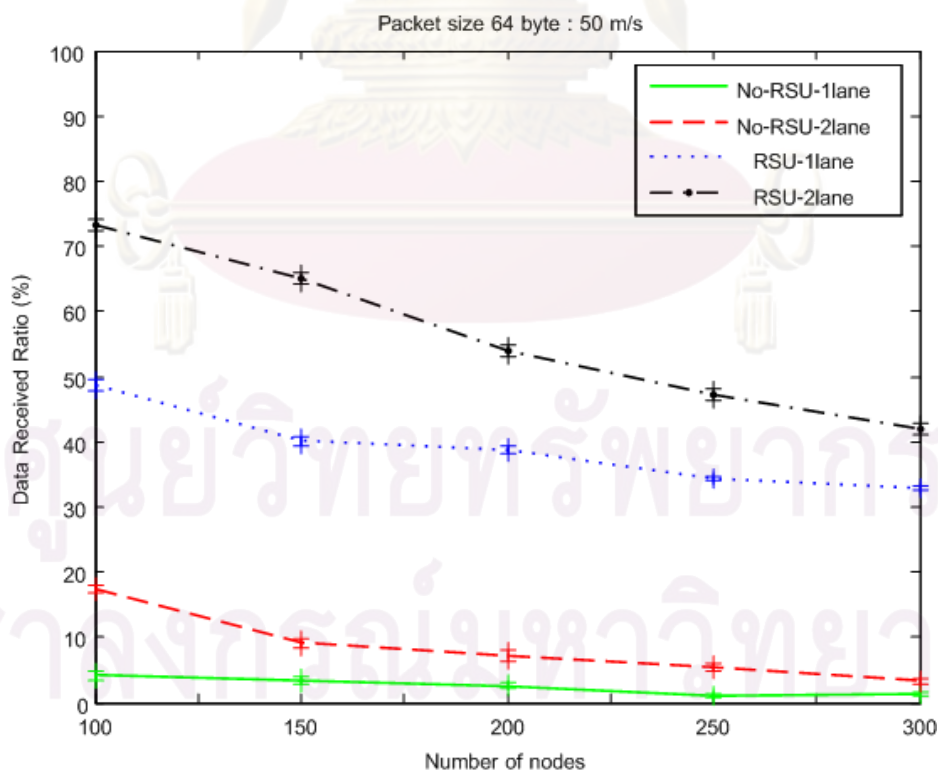
มีการจำลองเหมือนกับสถานะที่มีจำนวนโนดเบาบาง แต่ในแกน X ได้ทำการปรับเปลี่ยน จำนวนโนด เป็น 100, 150, 200, 250 และ 300 โหนด เพื่อดูผลของการทดสอบที่อยู่ในรูปอัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต และปริมาณทราฟฟิกในระบบ ในการจำลองนี้ ใช้กลุ่มข้อมูลขนาด 64 ไบต์ในการส่งข้อมูล มีการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที และไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.11, 4.12 พบว่า เมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายเพิ่มขึ้นจาก 10-50 โหนดแล้ว มีจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้น มีแนวโน้มที่จะให้อัตราการรับแพ็กเก็ตมีค่าที่สูงขึ้นตาม แต่จากการทดสอบพบว่า มีค่าน้อยลงในทุกๆ ทอพอโลยี จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้นแล้วจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างคุโนดก็มากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่มีการใช้ช่องสัญญาณเท่าเดิม เพราะเกิดจากจำนวนแพ็กเก็ตให้สัญญาณที่เพิ่มขึ้นมากตามจำนวนโนดทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตให้สัญญาณและการช่วงชิงกันใช้ช่องสัญญาณที่มากขึ้น จากการเพิ่มจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างคุโนดนั้น แต่ในสถานะที่มีโนดข้างถนน จะพบว่า ให้อัตราการรับแพ็กเก็ตที่มีค่าสูงกว่าในสถานะที่ไม่มีโนดข้างถนน สำหรับในกรณีที่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบ 2 ช่องการเดินนั้น พบว่า มีแนวโน้มที่ไม่เหมือนกันในแต่ละช่วงเวลา เป็นเพราะว่า ณ เวลานั้น โหนดเคลื่อนที่เข้าใกล้โนดข้างถนน จนสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ เมื่อโนดมีการเคลื่อนที่ออกจาก โหนดข้างถนน จนไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ก็ทำให้มีอัตราการรับสำเร็จมีค่าลดลงตาม ดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น

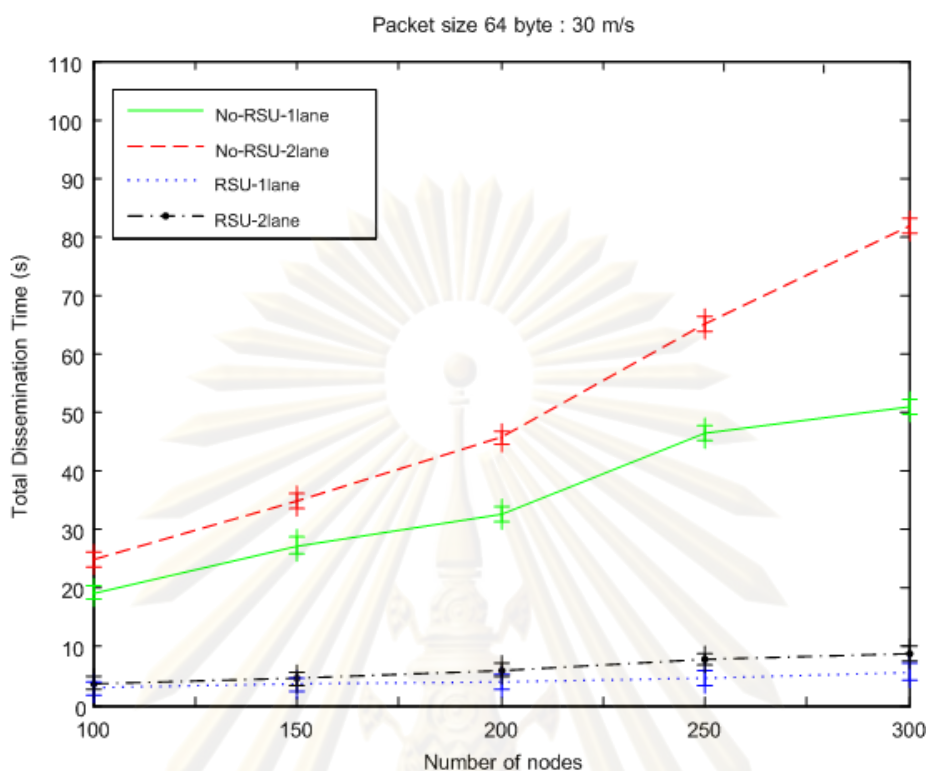
จากรูปที่ 4.13, 4.14 มีการพิจารณาในเรื่องของการใช้เวลาในการส่งผ่านข้อมูลว่ามีผลกระทบต่อ



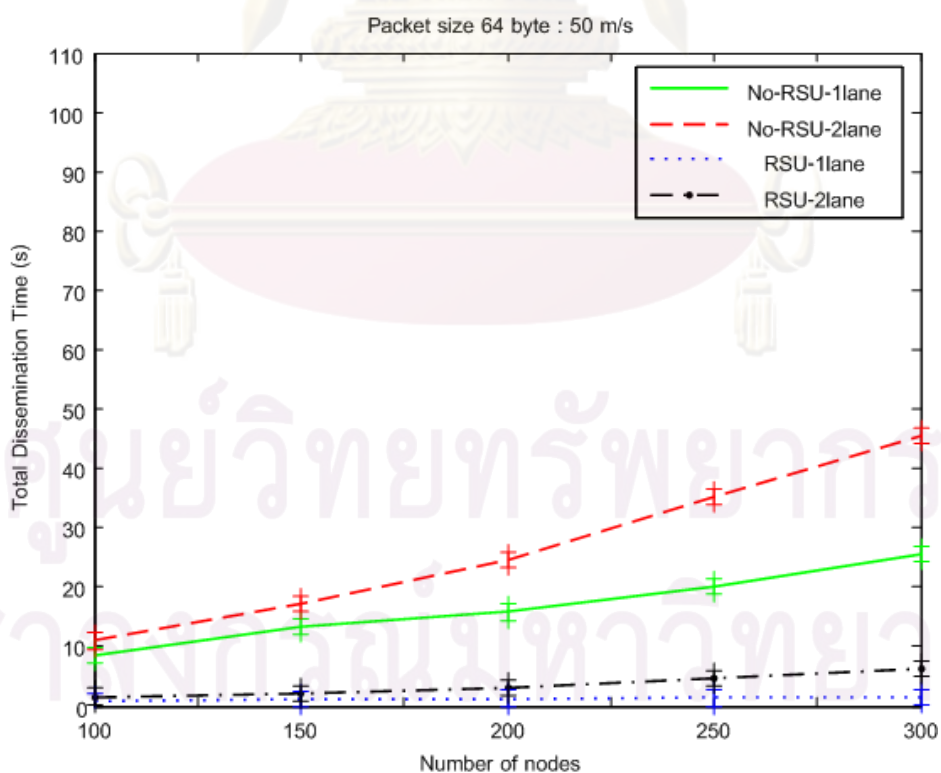
รูปที่ 4.11: อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ในกรณีสภาวะที่มีโน้ตหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโน้ตใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที



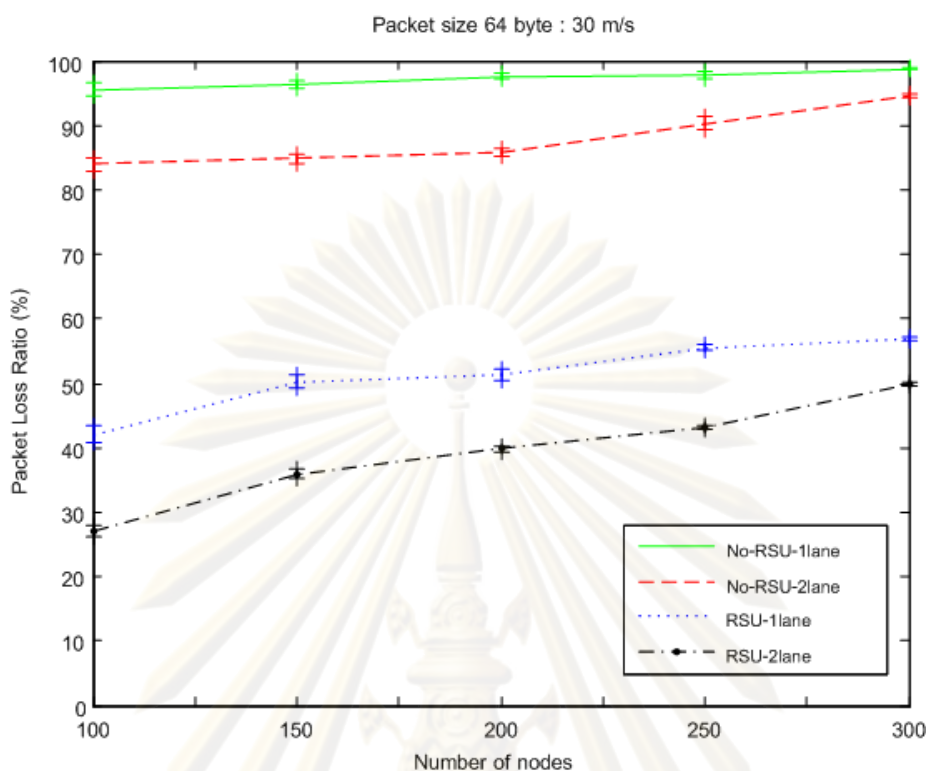
รูปที่ 4.12: อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ ในกรณีสภาวะที่มีโน้ตหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโน้ตใช้ความเร็วไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.13: เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม ในกรณีสภาวะที่มีโนดหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.14: เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม ในกรณีสภาวะที่มีโนดหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.15: อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต ในกรณีสถานะที่มีโน้ตหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโน้ตใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

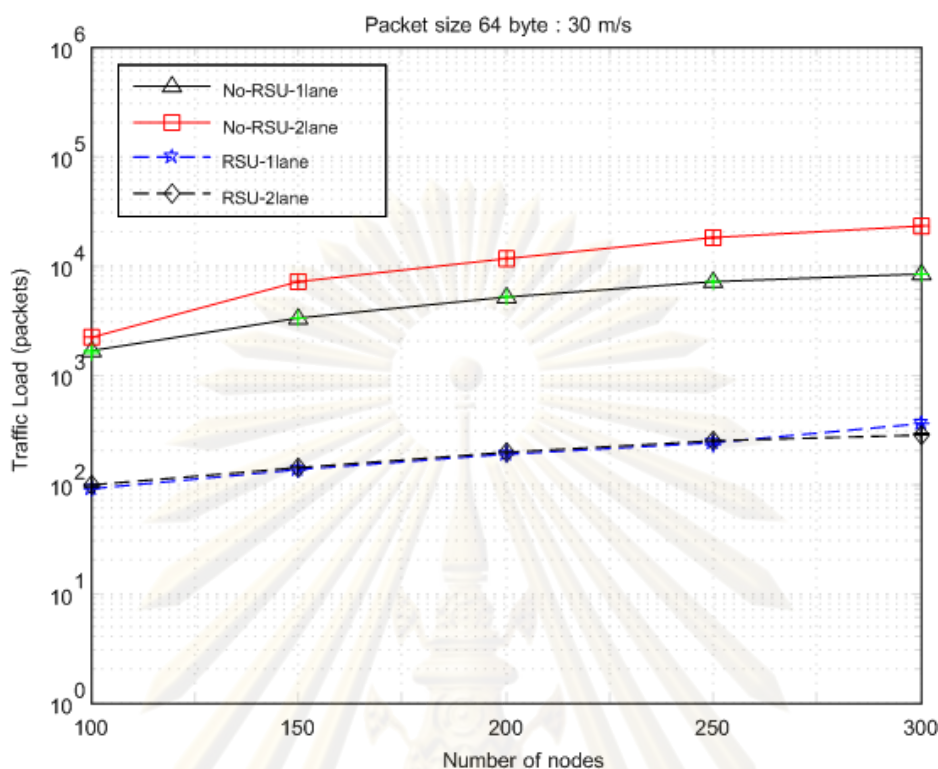
ระบบเป็นอย่างไร ผลที่แสดงในกราฟ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อมีจำนวนโน้ตเพิ่มมากขึ้นมาในระบบแล้ว ทำให้เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลจนทำให้อัตราการรับสำเร็จนั้นมีค่าที่สูงมาก ใช้เวลาเกือบ 50 วินาที อีกทั้งมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอน ลักษณะกราฟมีความชันมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วในแต่ละกรณี ส่วนในทอพอโลยีที่มีโน้ตข้างถนนเข้ามาในระบบทั้ง 1 ช่องการเดิน และ 2 ช่องการเดิน มีการจัดการเวลาในการส่งผ่านข้อมูลใช้เวลาที่น้อยกว่า ไม่ถึง 10 วินาที ในทุกกรณี ลักษณะกราฟที่ได้นั้น มีความชันเกือบคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปในทุกกรณี

จากรูปที่ 4.15 มีการพิจารณาว่า อัตราการสูญเสียแพ็กเก็ตเป็นอย่างไร โดยที่แกน Y เป็นอัตราการสูญเสียแพ็กเก็ต มีหน่วยเป็นแพ็กเก็ต และแกน X เป็นจำนวนโน้ตที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 100, 150, 200, 250 และ 300 โน้ต มีการเคลื่อนที่ของโน้ตใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.16 มีการพิจารณาว่า ปริมาณกราฟฟิกในระบบเป็นอย่างไร โดยที่แกน Y เป็นปริมาณกราฟฟิกในระบบ มีหน่วยเป็นแพ็กเก็ต และแกน X เป็นจำนวนโน้ตที่ใส่เข้าไปในระบบมีค่า 100, 150, 200, 250 และ 300 โน้ต มีการเคลื่อนที่ของโน้ตใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

4.3.3 โครงสร้างแบบจำลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของกลุ่มข้อมูล

ผลการทดสอบนี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่า การปรับเปลี่ยนขนาดของกลุ่มข้อมูล ทำให้สมรรถนะของโปรโตคอลนั้น มีผลอย่างไร เมื่อพิจารณาสำหรับค่าอัตราการรับสำเร็จที่สังเกตได้นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน ค่าที่แสดงออกมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับทุกขนาดแพ็กเก็ต แต่เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้การส่งผ่านแล้ว



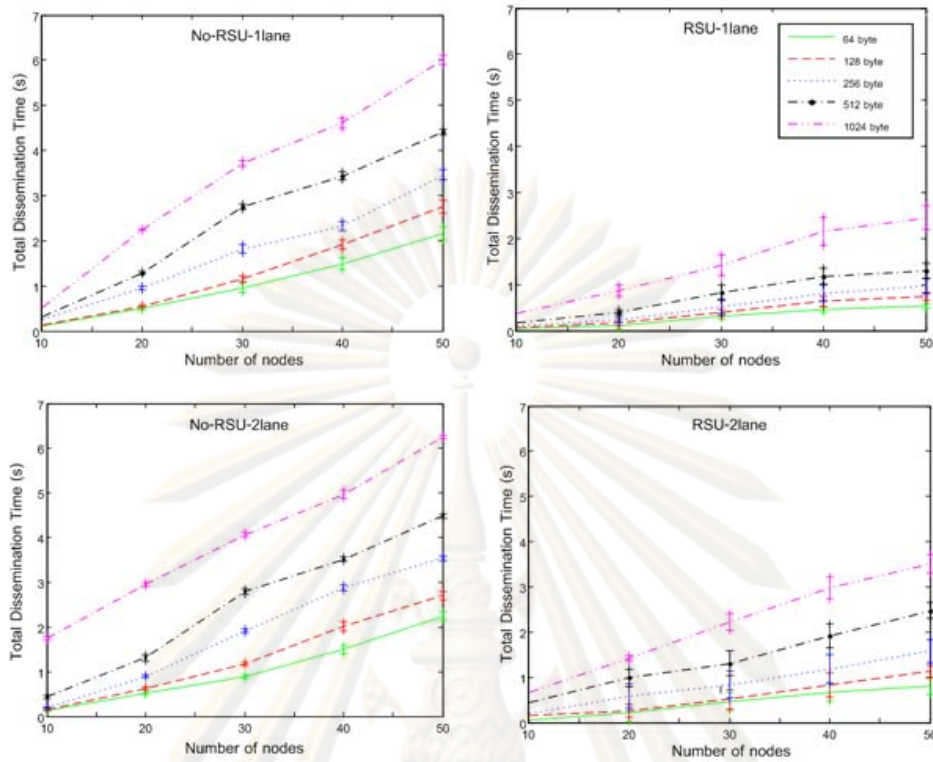
รูปที่ 4.16: ปริมาณทราฟฟิกในระบบ ในกรณีสถานะที่มีโนดหนาแน่นบนท้องถนน และมีการส่งแพ็กเก็ต 64 ไบต์ และการเคลื่อนที่ของโนดใช้ความเร็วไม่เกิน 30 เมตรต่อวินาที

เมื่อคำนึงถึงข้อสังเกต การส่งแพ็กเก็ตขนาดต่างๆกัน จึงมีการใช้เวลาที่แตกต่างกัน ในกรณีการทดสอบนี้ มีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือในสถานะที่มีจำนวนโนดบนท้องถนนเบาบาง แทนด้วยจำนวนโนด 10, 20, 30, 40 และ 50 โนด และในสถานะที่มีจำนวนโนดบนท้องถนนหนาแน่น แทนด้วยจำนวนโนด 100, 150, 200, 250 และ 300 โนด

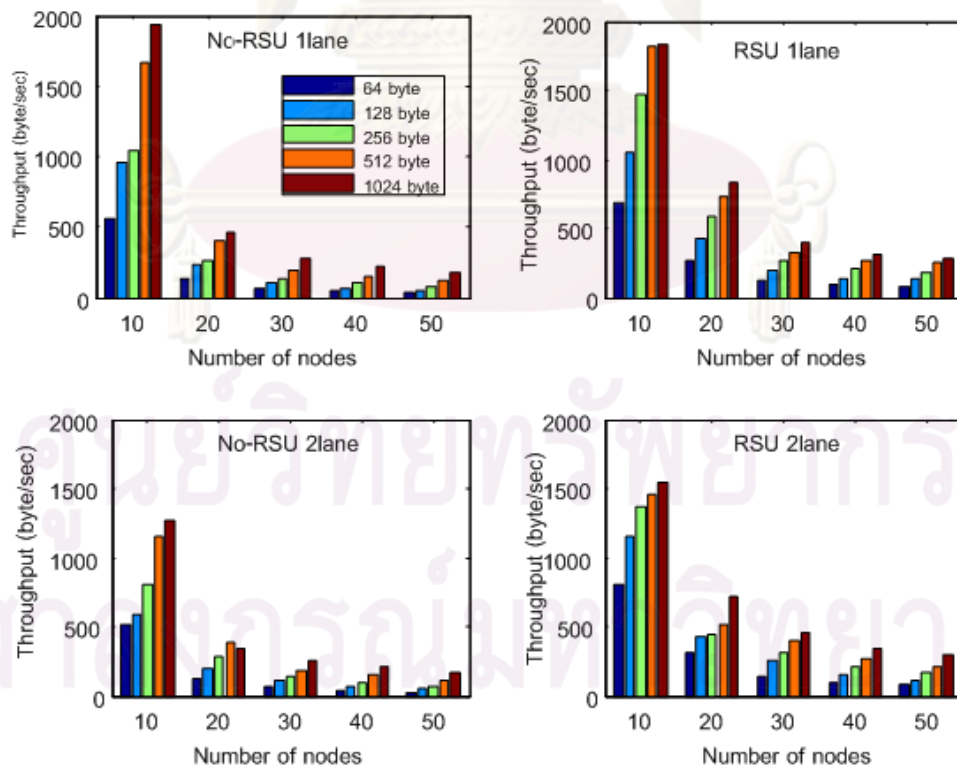
4.3.3.1 ในสถานะที่มีจำนวนโนดบนท้องถนนเบาบาง

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของการทดสอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของแพ็กเก็ตได้แก่ 64, 128, 256, 512 และ 1024 ไบต์ ในสถานะที่มีจำนวนโนดเบาบางบนท้องถนน โดยใช้การทดสอบตามทอพอโลยีทั้ง 4 แบบ ข้างต้น ในการจำลองนี้ ได้ทำการพิจารณาถึงขนาดของแพ็กเก็ตนั้น มีผลต่อการออกแบบโปรโตคอลอย่างไร

จากรูปที่ 4.17 แสดงการทดสอบ โดยที่มีแกน X แสดงถึงค่าจำนวนโนดบนถนน มีขนาด 10, 20, 30, 40 และ 50 โนด สำหรับแกน Y แสดงถึง ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม (Total dissemination time) จากกราฟทั้ง 4 แบบ นั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดแพ็กเก็ตแล้ว มีแนวโน้มทำให้ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมนั้น มีค่าสูงขึ้น ตามขนาดของโนดที่เพิ่มขึ้นแต่ในสถานะที่ไม่มีโนดข้างถนนในระบบนั้น สังเกตได้ว่า ลักษณะของกราฟที่ได้ จะมีความชันเพิ่มขึ้นทั้งในกรณี 1 ช่องการเดินและ 2 ช่องการเดิน ส่วนในกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนนั้น ลักษณะของกราฟที่ได้ จะมีความชันที่ลดลง อีกทั้งยังให้ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมมีค่าน้อยกว่า ในระบบที่ไม่มีโนดข้างถนน



รูปที่ 4.17: การเปรียบเทียบค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูล เมื่อพิจารณาถึงการปรับเปลี่ยนแพ็กเก็ต ในสถานะที่มีจำนวนโหนดเบาบางบนท้องถนน



รูปที่ 4.18: การเปรียบเทียบปริมาณงาน เมื่อพิจารณาถึงการปรับเปลี่ยนแพ็กเก็ต ในสถานะที่มีจำนวนโหนดเบาบางบนท้องถนน

ตารางที่ 4.6: ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโปรโตคอลในแต่ละกรณี

อัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จ				
สภาวะโนดเบาบาง	RSU2lane	RSU1lane	No-RSU2lane	No-RSU1lane
สภาวะโนดหนาแน่น	RSU2lane	RSU1lane	No-RSU2lane	No-RSU1lane
เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม				
สภาวะโนดเบาบาง	RSU1lane	RSU2lane	No-RSU1lane	No-RSU2lane
สภาวะโนดหนาแน่น	RSU1lane	RSU2lane	No-RSU1lane	No-RSU2lane
อัตราแพ็กเก็ตสูญหาย				
สภาวะโนดเบาบาง	RSU2lane	RSU1lane	No-RSU2lane	No-RSU1lane
สภาวะโนดหนาแน่น	RSU2lane	RSU1lane	No-RSU2lane	No-RSU1lane

สำหรับแนวโน้มที่ทำให้ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของแพ็กเก็ตแล้วส่งผลให้ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลนั้นมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากว่า มีการใช้ขนาดของช่องสัญญาณเดียวกัน อัตราการส่งแพ็กเก็ตในแต่ละครั้งนั้นต้องรอเวลาในการส่งที่มากขึ้นตาม เมื่อมีจำนวนโนดเข้ามาในระบบที่มากขึ้น ความต้องการในการใช้ช่องสัญญาณก็มีมากขึ้นตามไปด้วย

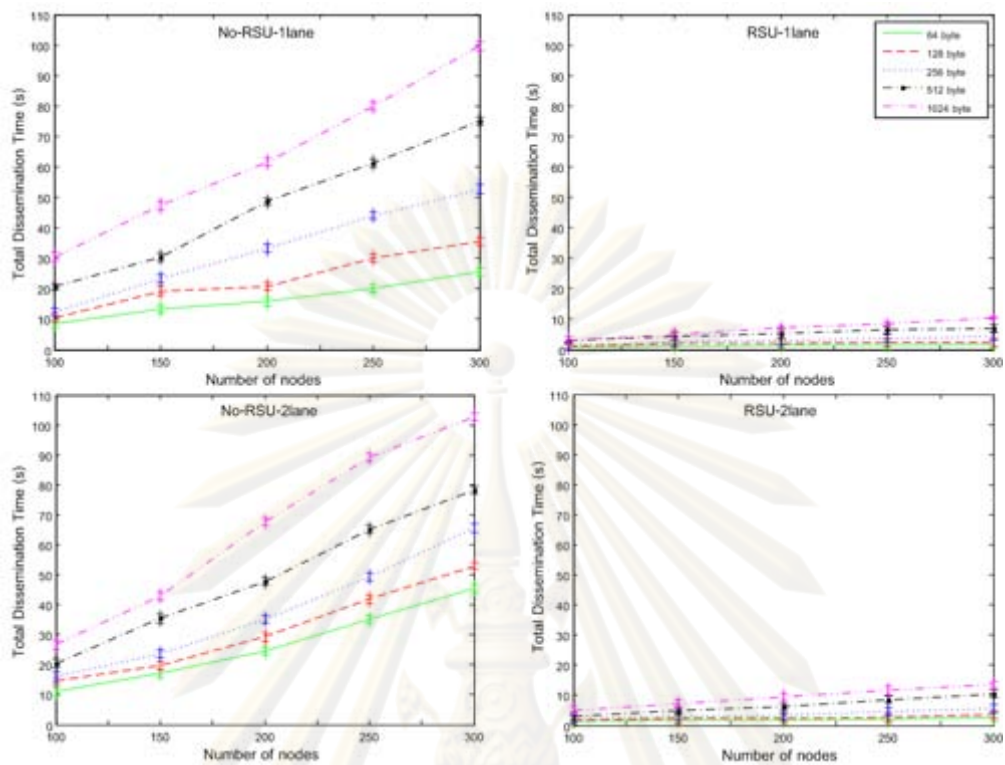
จากรูปที่ 4.18 แสดงการทดสอบ โดยที่มีแกน X แสดงถึงค่าจำนวนโนดบนถนน มีขนาด 10, 20, 30, 40 และ 50 โหนด สำหรับแกน Y แสดงถึง ปริมาณงาน (Throughput) จากกราฟทั้ง 4 แบบ นั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดแพ็กเก็ตแล้ว ในสภาวะที่มีโนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้ว ทำให้ปริมาณที่ได้รับนั้น มีค่าที่สูงกว่าในสภาวะที่ไม่มีโนดข้างถนน แนวโน้มของการเพิ่มขนาดแพ็กเก็ต จะให้ค่าปริมาณงานที่ลดลง อีกทั้งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนจำนวนโนดที่สูงขึ้น ปริมาณงานมีค่าลดลงตาม

4.3.3.2 ในสภาวะที่มีจำนวนโนดบนท้องถนนหนาแน่น

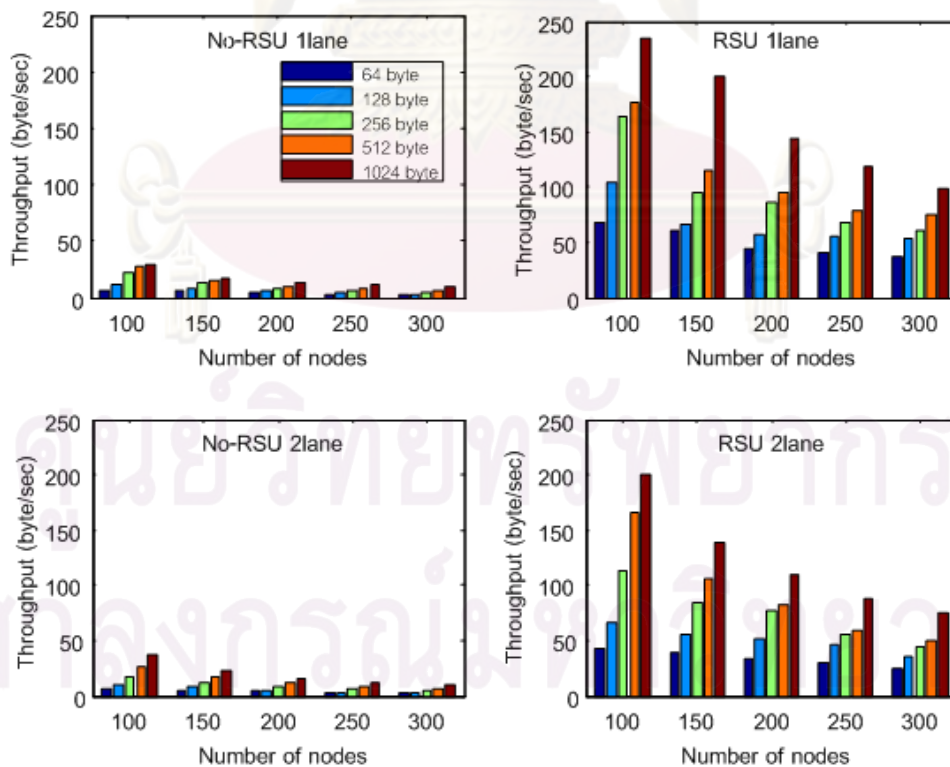
ในหัวข้อนี้จะแสดงผลของการทดสอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดของแพ็กเก็ตได้แก่ 64,128, 256, 512 และ 1024 ไบต์ ในสภาวะที่มีจำนวนโนดหนาแน่นบนท้องถนน ปรับเปลี่ยนขนาดของโนดเป็น 100,150, 200, 25 และ 300 โหนด โดยใช้การทดสอบตามทอพอโลยีทั้ง 4 แบบ ข้างต้น

จากรูปที่ 4.19 แสดงการทดสอบโดยที่มีแกน X แสดงถึงค่าจำนวนโนดบนถนน มีขนาด 100, 150, 200, 250 และ 300 โหนด สำหรับแกน Y แสดงถึง ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวม (Total dissemination time) จากกราฟทั้ง 4 แบบ แสดงให้เห็นว่า แนวโน้มของระบบที่ไม่มีโนดข้างถนนนั้น ได้ค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมมีค่าสูงมาก สูงที่สุด ประมาณ 100 วินาทีแต่ในระบบที่มีโนดข้างถนนเข้ามาแล้ว มีการทำงานตามโปรโตคอลที่ได้ออกแบบไป มีการใช้เวลาสูงที่สุด ประมาณ 10 วินาที เนื่องมาจากว่า เมื่อมีจำนวนโนดเพิ่มขึ้น จาก 10-50 นั้น เป็นการเพิ่มจำนวนการติดต่อที่มากขึ้นตามจำนวนโนด ทำให้เกิดการชนกันในเลเยอร์ด้าลิงค์ที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.20 แสดงการทดสอบแสดงการทดสอบโดยที่มีแกน X แสดงถึงค่าจำนวนโนดบนถนน มีขนาด 100, 150, 200, 250 และ 300 โหนด สำหรับแกน Y แสดงถึง ปริมาณงาน (Throughput) จากกราฟทั้ง 4 แบบ นั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดแพ็กเก็ตแล้ว ในสภาวะที่มีโนดข้างถนนเข้า



รูปที่ 4.19: การเปรียบเทียบค่าเวลาการส่งผ่านข้อมูล เมื่อพิจารณาถึงการปรับเปลี่ยนแพ็กเกต ในสภาวะที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นบนท้องถนน



รูปที่ 4.20: การเปรียบเทียบปริมาณงาน เมื่อพิจารณาถึงการปรับเปลี่ยนแพ็กเกต ในสภาวะที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นบนท้องถนน

มาในระบบแล้ว ทำให้ปริมาณที่ได้รับนั้น มีค่าที่สูงกว่าในสถานะที่ไม่มีโนดข้างถนน แนวโน้มของการเพิ่มขนาดแพ็กเก็ต จะให้ค่าปริมาณงานที่ลดลง อีกทั้งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนจำนวนโนดที่สูงขึ้น ปริมาณงานมีค่าลดลงตาม เหมือนกับในสถานะที่มีโนดเบาบาง แต่ค่าปริมาณงานนั้นให้ค่าที่ต่ำลงมาก

4.4 สรุป

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปตามกรณี ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งมีการเรียงตามสมรรถนะสูงสุด ไปยังต่ำสุด อีกทั้ง ในกรณีที่สภาวะบนท้องถนนมีจำนวนโนดเบาบาง อัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จมีสมรรถนะดีกว่าในกรณี สภาวะบนท้องถนนมีจำนวนโนดหนาแน่น ซึ่ง โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนี้ ที่นำเสนอโดยใช้โนดข้างถนน เข้ามาเพื่อใช้ส่งผ่านข้อมูลในระบบนั้น ทำให้อัตราการรับข้อมูลสำเร็จ เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งระยะเวลาการส่งผ่านข้อมูลนั้นใช้เวลาน้อยกว่าในระบบที่ไม่มีโนดข้างถนน แพ็กเก็ตที่มีค่าน้อยจะใช้เวลาการส่งผ่านข้อมูลน้อยกว่า แพ็กเก็ตที่มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อค่านิ่งค่าปริมาณที่ได้รับในสถานะที่แพ็กเก็ตมีขนาดใหญ่ขึ้น พบว่า มีค่าปริมาณงานที่สูงกว่า แพ็กเก็ตขนาดเล็ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลการจราจร ที่ใช้เทคโนโลยีแบบโครงข่ายแอตสอกเคลื่อนที่ โดยนำโหนดข้างถนนทำหน้าที่ช่วยในการรับข้อมูลจากยานพาหนะและทำการส่งผ่านข้อมูลที่ได้อีกไปยังยานพาหนะ ในงานวิทยานิพนธ์ได้อธิบายการออกแบบการทำงานของโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล เพื่อช่วยให้อัตราการรับแพ็กเก็ตสำเร็จมีค่าสูงขึ้น อีกทั้ง ทำให้เวลาการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมมีค่าน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ แต่ว่า ถ้าในระบบโหนดข้างถนนเกิดความเสียหาย หรือไม่สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับยานพาหนะได้ โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนี้ ก็ไม่สามารถทำงานได้ จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญที่สุดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากผลการทดสอบจากการจำลองด้วยโปรแกรม NS-2 สามารถสรุปได้ว่า โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลนี้ ที่นำเสนอโดยใช้โหนดข้างถนน เข้ามาเพื่อใช้ส่งผ่านข้อมูลในระบบ ทำให้อัตราการรับข้อมูลสำเร็จ เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งระยะเวลาการส่งผ่านข้อมูลนั้นใช้เวลาน้อยกว่าในระบบที่ไม่มีโหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ แต่ในสถานะที่มีจำนวนโหนดบนท้องถนนหนาแน่น สมรรถนะของอัตราการรับข้อมูลนั้นมีค่าน้อยลง แต่ก็ยังให้ผลสำเร็จสูงกว่า ในกรณีที่ไม่มี โหนดข้างถนนเข้ามาในระบบ เนื่องจากโหนดข้างถนนช่วยในการจัดการข้อมูลให้มีสมรรถนะมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ออกแบบกระบวนการประสานงานระหว่างกลยุทธ์หาเส้นทางนี้ กับชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC (MAC callback) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมในส่วนนี้อาจจะทำให้อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จมีค่าสูงขึ้น เพราะจากการทดลองพบว่า ในกรณีที่ไม่มีโหนดเข้ามาในระบบหนาแน่นแล้ว อัตราส่วนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จมีค่าที่ต่ำกว่า
2. ควรพิจารณาระบบนี้กับสถานะถนนที่มีจำนวนช่องทางการเดินมากกว่า 2 ช่องทางการเดิน อีกทั้งยังควรทดสอบกับถนนแบบรูปแบบใดๆ นอกเหนือจากถนนแบบตารางที่ทดสอบในที่นี้

รายการอ้างอิง

- [1] Ministry of Land Infrastructure and Transport. The system outline of VICS [online] Available from: <http://www.its.go.jp/etcvics/vics/> [10 สิงหาคม 2552.]
- [2] B. Xu and O. Wolfson. Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks. Proceeding of the IEEE International Conference on Mobile Data Management (2004): 4-12.
- [3] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, and C. Liao. Traffic view: A Scalable Traffic Monitoring System. Proceeding of the IEEE International Conference on Mobile Data Management (2004): 13-21.
- [4] N. Shibata, T. Terauchi, T. Kitani, K. Yasumoto, M.Ito and T. Higashino. A Method for Sharing Traffic Jam Information using Inter-Vehicle Communication Proceeding of the IEEE International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (2006): 1-7.
- [5] T. Nadeem, P. Shankar, and L. Iftode. A Comparative Study of Data Dissemination Models for VANETs. Proceeding of the IEEE International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (2006).
- [6] T. Shinkawa, T. Terauchi, T. Kitani, N. Shibata, K. Yasumoto, M.Ito and T. Higashino. A Technique for Information Sharing using Inter-Vehicle Communication with Message Ferrying. Proceeding of the International Workshop on Future Mobile and Ubiquitous Information Technologies (2006): 221-225.
- [7] L. Wischhof, A. Ebner, and H. Rohling. Information Dissemination in Self-Organizing Intervehicle Networks. Proceeding of the IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (2005).
- [8] J. Zhao and G. Cao. VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. Proceeding of the IEEE Transactions on Vehicular Technology (2008).
- [9] H. Wu and R. Fujimoto, R. Guensler and M. Hunter. MDDV: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks. ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (2004).
- [10] T. Nadeem, and L. Iftode. VITP: an information transfer protocol for vehicular computing. ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (2005).
- [11] D. C. Erdil, M. J. Lewis, and N. Abu-Ghazaleh. Adaptive Approach to Information Dissemination in Self-Organizing Grids. Proceeding of the IEEE International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (2006).

- [12] D. Sormani, G. Turconi, P. Costa, D. Frey, M. Migliavacca and L. Motola. Towards Lightweight Information Dissemination in Inter-Vehicular Networks. Proceedings of Vehicular Ad Hoc Networks (2006).
- [13] Y. Ding, C. Wang, and L. Xiao. A Static-Node Assisted Adaptive Routing Protocol in Vehicular Networks. Proceedings of Vehicular Ad Hoc Networks (2007): 59-68.
- [14] J. Zhao, Y. Zhang, and G. Cao. Data Pouring and Buffering on The Road: A New Data Dissemination Paradigm for Vehicular Ad Hoc Networks. Proceeding of the IEEE Transactions on Vehicular Technology (2007).
- [15] Richard W. Rothery. Traffic Flow Theory - Car following models (Chapter 4) Transportation Research Board report United States Department of Transportation - Federal Highway Administration (1999).
- [16] Ai H. Ho, Yao H. Ho, and Kien A. Hua. A Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Street Environment Proceeding of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (2005).
- [17] NS2 Network Simulator [online], Available from: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> [10 สิงหาคม 2552.]
- [18] Simulation of Urban MObility [online], Available from: <http://sumo.sourceforge.net/> [10 สิงหาคม 2552.]
- [19] TraNS : Traffic and Network Simulation Environment [online], Available from: <http://trans.epfl.ch/> [10 สิงหาคม 2552.]



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

ศศิรมย์ เทียนน้อย และ ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร. โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลสำหรับโครงข่ายแอดฮอก
ในยานพาหนะโดยใช้โน้ตข้างถนนประมวลข้อมูลการจราจรแบบกระจาย. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม
ไฟฟ้าครั้งที่ 31 (ตุลาคม 2551). :753-756.

Sasirom Tiennoy and Chaiyachet Saivichit. Data Dissemination protocol for Vehicular
Ad Hoc Networks by Utilizing Distributed Roadside Traffic Information Processing Nodes.
International Symposium on Multimedia and Communication Technology. (Jan2009).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล สำหรับโครงข่ายแอดฮอกในยานพาหนะ โดยใช้โหนดข้างถนนประมวลข้อมูล

การกระจายแบบกระจาย

Data Dissemination protocol for Vehicular Ad Hoc Networks by Utilizing Distributed Roadside Traffic

Information Processing Nodes

ศศิรมย์ เทียนน้อย และ ชัยเชษฐ สายวิจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ : 0-2218-6915

E-mail: Sasirom.t@chula.ac.th, Chaiyachet.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรโตคอลการสื่อสารของยานพาหนะ โดยใช้เทคโนโลยีโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย โดยมีโหนดข้างถนนมาช่วยในการส่งผ่านข้อมูล ที่เกิดจากการรายงานข้อมูลของยานพาหนะให้กับโหนดข้างถนน ซึ่งโหนดข้างถนนนั้นไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ในการสร้างระบบจำลองได้ใช้โปรแกรม NS2 เพื่อประเมินระยะเวลาโดยเฉลี่ยของขนาดกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบเปรียบเทียบกับจำนวนโหนดที่ไม่มีโหนดข้างถนนและมีโหนดข้างถนนตามโปรโตคอลที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองนั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อ โหนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้ว ทำให้ระยะเวลาประวิงที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง

คำสำคัญ: โครงข่ายแอดฮอกไร้สาย, ข้อมูลการจราจร, การส่งผ่านข้อมูล

Abstract

This paper proposes a new inter-vehicular communication protocols for data dissemination on road networks. A new type of node named "roadside unit" is introduced to help distributing traffic related information in which the roadside unit acts as a relay node. In order to quantify the performance of the proposed protocol, this work used the network simulator (NS2) software to model and test different road network scenarios. Numerical results shows that total network delay can be reduced when using the proposed inter-vehicular communication protocol.

Keyword: Vehicular Ad-hoc Networks (VANET), Traffic information, Data dissemination

1. คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ตลอดจนความต้องการของผู้ใช้งานที่มีมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของการสื่อสารไร้สายอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายเซลลูลาร์ โครงข่ายแลนไร้สาย รวมถึงโครงข่ายแอดฮอก ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการขนส่งมวลชน เรียกว่าโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมาก [1, 2] ได้ศึกษาโครงข่ายดังกล่าว ที่ผ่านมามีงานวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจทางด้านความปลอดภัย โดยใช้โปรโตคอลการสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะ [3, 4] เพื่อเตือนภัยล่วงหน้าในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนถึงจุดเกิดเหตุหรือในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการขับขี่ยานพาหนะ เช่น ในกรณีที่มีหมอกลางจัด หรือฝนตกหนัก จนผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นสภาพถนนในระยะไกลได้ชัดเจน

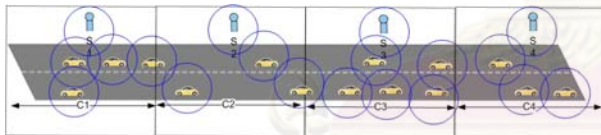
เนื่องจากการจราจรในตัวเมือง มีสภาพการจราจรที่คับคั่งจึงไม่สามารถคาดการณ์ข้อมูลการจราจร ดังนั้นในประเทศญี่ปุ่นจึงได้นำระบบ VICS (Vehicle Information and Communication System Center) [5] มาใช้รายงานสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์บนท้องถนนกับยานพาหนะ ซึ่งใช้อุปกรณ์และงบประมาณในการลงทุนสูงมากเนื่องจากต้องวางโครงข่ายรวมเข้าศูนย์กลาง จึงมีความจำเป็นติดตั้งเสาอากาศอยู่ไว้ริมถนนหรือตามเสาไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เสนอวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจร [6] โดยใช้โครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะ เพื่อนำมาใช้คำนวณหาเวลาที่ใช้ในการเดินทางของยานพาหนะ แต่เมื่อพิจารณาในสภาวะที่มียานพาหนะเบาบางแล้ว ข้อมูลที่ได้รับอาจเกิดการสูญหายได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยโดย Ding และคณะ [7] ได้มีแนวความคิดในการเพิ่มโหนดข้างถนนที่ไม่ได้มีการติดต่อเข้ากับศูนย์กลาง แต่นำโหนดข้างถนนมาช่วยในการสื่อสารในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะเพียงอย่างเดียว ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงได้

เสนอให้มีการใช้โหนดข้างถนนในระบบ เพื่อช่วยในการสื่อสารและหน้าที่ส่งผ่านข้อมูล

งานวิจัยโดย Zhao และคณะ[8] ได้นำโหนดข้างถนนมาใช้ส่งผ่านข้อมูลในส่วนของข้อมูลที่ทำกรส่งผ่านนั้นมีการรับข้อมูลมาจากศูนย์กลาง ซึ่งต้องใช้การลงทุนในการติดตั้งโครงข่าย แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ โหนดข้างถนน จะได้รับข้อมูลการจราจรจากการสื่อสารกับยานพาหนะที่ได้รายงานข้อมูลให้กับโหนดข้างถนน ซึ่งโหนดข้างถนนนั้น มีการติดต่อกันแบบโครงข่ายแอดฮอก จึงจำเป็นต้องมีโพรโตคอลการสื่อสารกันระหว่างยานพาหนะกับโหนดข้างถนน ในบทความนี้จึงได้สร้างระบบจำลองเพื่อประเมินระยะเวลาประวิงกับขนาดกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบเปรียบเทียบกับระหว่างสภาวะที่ไม่มีโหนดข้างถนนและสภาวะที่มีโหนดข้างถนนตามโพรโตคอลที่ได้ออกแบบไว้ และใช้โปรแกรมจำลอง Network Simulator 2 (NS2) เวอร์ชัน 2.33 [9] โดยในเบื้องต้นได้สมมุติให้ยานพาหนะไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อให้ไม่มีผลกระทบในเรื่องของการจัดสรรเส้นทางในการส่งแพ็กเก็ต และรูปแบบของกราฟที่ส่งเป็นแบบการส่งด้วยอัตราคงที่

2. โพรโตคอลที่นำเสนอ

สำหรับโพรโตคอลการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะที่ได้นำเสนอนี้ มีการนำโหนดมาติดตั้งข้างถนน (เช่น ตรงป้อมตำรวจ ป้ายรถเมล์ หรือตู้โทรศัพท์) เรียกว่าโหนดข้างถนน โดยที่โหนดข้างถนนนี้ไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าสู่ศูนย์กลาง มีการติดต่อกันแบบโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย ซึ่งคุณลักษณะของโหนดข้างถนนนั้นเหมือนกับยานพาหนะทุกประการ เสมือนเป็น 1 โหนดที่เพิ่มเข้ามาในระบบดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 : รูปแบบของโครงสร้าง

การทำงานของระบบและสัญลักษณ์ที่ใช้ ดังนี้

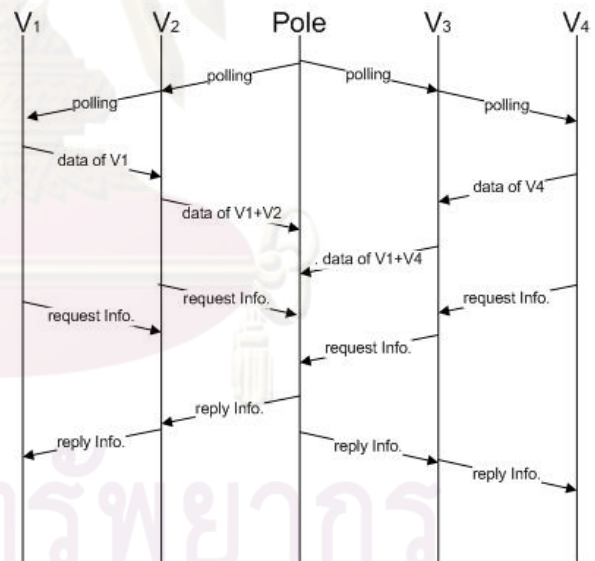
- ถนนจะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์เหมือนเล็กๆ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ C_1, C_2, \dots, C_n โดยจะแบ่งตามโหนดข้างถนนที่มีประจำอยู่ในแต่ละช่วงถนน
- กำหนดโหนดข้างถนน เรียกว่า S_1, S_2, \dots, S_n เป็นบริเวณที่มีการเก็บข้อมูลแล้วทำการส่งผ่านข้อมูล โดยติดต่อกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่ของการกระจายข้อมูล
- ยานพาหนะต้องรู้ตำแหน่งของตนเอง ว่าตนเองอยู่ในตำแหน่งของเซลล์เหมือน C_1, C_2, \dots, C_n เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่เซลล์เหมือนใดๆ และได้ยื่นการร้องขอข้อมูลของโหนดข้างถนนในเซลล์นั้นแล้ว จะต้องรายงานข้อมูลเกี่ยวกับ ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ทิศทางที่เดินทางไป และตำแหน่งของตนเอง เป็นต้น
- โพรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารแสดง(รูปที่ 2) จะเริ่มจากกระบวนการเก็บข้อมูลของโหนดข้างถนน ทำการส่งข้อมูลร้อง

ขอ(Polling) ยานพาหนะทุกๆคันที่อยู่ในบริเวณเซลล์ที่ตนเองอยู่ และรอการตอบกลับเป็นช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อยานพาหนะได้ยื่น ก็จะรายงานข้อมูลกลับ (Reply data) ในกรณีที่มียานพาหนะมากกว่า 1 คันในแต่ละเซลล์เสมือนนั้น ยานพาหนะที่อยู่ไกลจากโหนดข้างถนน จะส่งข้อมูลกลับมาแบบ piggy back ($Data V_1+V_2+\dots+V_n$) ให้กับยานพาหนะข้างเคียง โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันมีการตั้งเวลาเริ่มต้นแบบสุ่ม และเริ่มนับถอยหลังพร้อมๆกัน ส่งมายังโหนดข้างถนน ยานพาหนะใดที่มีเวลาสิ้นสุดก่อนจะรอคอยข้อมูลจากยานพาหนะข้างเคียงนานที่สุด โดยใช้การเลือกค่าเริ่มต้นนับถอยหลัง ในงานวิจัยโดย Ai H. Ho และคณะ [1] ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$t(P)=T(1-P) \quad (1)$$

เมื่อ T คือค่าความหน่วงเวลาสูงสุด

- เมื่อยานพาหนะต้องการรู้ข้อมูล จะส่งการร้องขอข้อมูลไปยังโหนดข้างถนน (Request Information) เพื่อไม่ให้โหนดข้างถนนเกิดความคับคั่ง เมื่อยานพาหนะที่อยู่ในรัศมีของโหนดข้างถนนและได้รับข้อมูลแล้ว ก็ทำตนเองเสมือนเป็นโหนดข้างถนน ส่งผ่านข้อมูลไปยังยานพาหนะ (Reply Information) ข้างเคียง

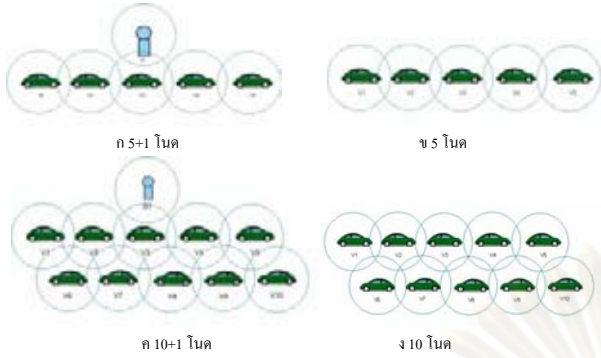


รูปที่ 2: โพรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างโหนดข้างถนนและยานพาหนะ

3. โครงสร้างของระบบจำลอง

การจำลองของระบบนี้ ทำขึ้นเพื่อประเมินระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการส่งผ่านข้อมูลใน 1 เซลล์ ว่าใช้ระยะเวลาเท่าไร แบ่งออกเป็นกรณีที่ไม่มีโหนดข้างถนนที่มี 5 โหนด และ 10 โหนด (ตามรูป 3ข และ 3ง) กับกรณีที่มีโหนดข้างถนนตามโพรโตคอลที่ออกแบบไว้ทำให้มีจำนวนเป็น $5+1$ โหนด และ $10+1$ โหนด (ตามรูป 3ก และ 3ค) เพื่อให้ระบบจัดการได้ง่ายขึ้น ระบบจำลองนี้ได้สมมุติให้ยานพาหนะ

ไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อให้ระยะเวลาของการส่งแพ็กเก็ตในระดับชั้นโครงข่ายไม่มีผลกระทบต่อการศึกษา



รูปที่ 3: รูปแบบโครงสร้างของระบบจำลอง

สำหรับกระบวนการส่งผ่านข้อมูลใน 1 เซลล์ กรณีที่ไม่มีโนดข้างถนน ยานพาหนะต้องติดต่อสื่อสารกับยานพาหนะคันอื่นๆ ทุกคันในเซลล์ เพื่อให้เกิดกระบวนการส่งผ่านข้อมูลของเซลล์นั้น ในขณะที่กรณีมีโนดข้างถนนตาม โปรโตคอลที่ได้ออกแบบไว้ จะเกิดกระบวนการส่งผ่านข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2

- ช่วงที่ 1 เกิดจากโนดข้างถนนทำการร้องขอข้อมูลไปยังยานพาหนะทุกคันที่อยู่ในเซลล์
- ช่วงที่ 2 เมื่อยานพาหนะได้รับข้อมูลการร้องขอจาก โนดข้างถนน ก็ทำการรายงานข้อมูลไปยังโนดข้างถนน
- ช่วงที่ 3 ยานพาหนะมีความต้องการข้อมูลที่โนดข้างถนนได้ทำการประมวลผลไว้แล้ว จะส่งการร้องขอข้อมูลไปที่โนดข้างถนน และโนดข้างถนนจะทำการส่งผ่านข้อมูลมายังยานพาหนะ

4. ผลการจำลอง

โครงสร้างของระบบจำลองดังกล่าวได้ใช้การจำลองจากโปรแกรม NS-2 ตามพารามิเตอร์ของตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : พารามิเตอร์ในการจำลองโปรแกรม NS-2

ลักษณะของทราฟฟิกที่ใช้ในการทดสอบ	
ทราฟฟิกที่ใช้ในการทดสอบ	Constant Bit Rate (CBR)
ขนาดของแพ็กเก็ต	1024 ไบต์
ขนาดกลุ่มข้อมูล (กิโลไบต์)	10,50,100,150,200
จำนวนครั้งของการทดสอบ	10 ครั้ง
รัศมีของการสื่อสาร	200 เมตร
โปรโตคอลการจัดสรรเส้นทาง	AODV
โปรโตคอลการเข้าถึงตัวกลาง	IEEE 802.11

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 2 คือค่าเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล ซึ่งมีขนาดของกลุ่มข้อมูล 10, 50, 100, 150, 200 กิโลไบต์ ตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็นกรณีที่มีโนดข้างถนน (5+1 โนด และ 10+1 โนด) และกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนน (5 โนด และ 10 โนด) มีหน่วยเป็นวินาที จากผลที่แสดงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อขนาดของกลุ่มข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทำให้มีแนวโน้มของเวลาที่เพิ่มตาม เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกรณีที่มีโนดข้างถนนกับกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนสำหรับในกรณีที่มี 5+1 โนด กับ 5 โนดนั้นระยะเวลาที่ใช้มีค่า

ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้สำหรับกรณี 10+1 โนด กับ 10 โนด มีแนวโน้มว่ามากกว่า 2 เท่า เนื่องจากว่าเมื่อมีจำนวนโนดเข้ามาในระบบเพิ่มขึ้น โนดข้างถนนมีการรอคอยข้อมูลจากทุกโนดส่งมาถึง

ตารางที่ 2 : เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล

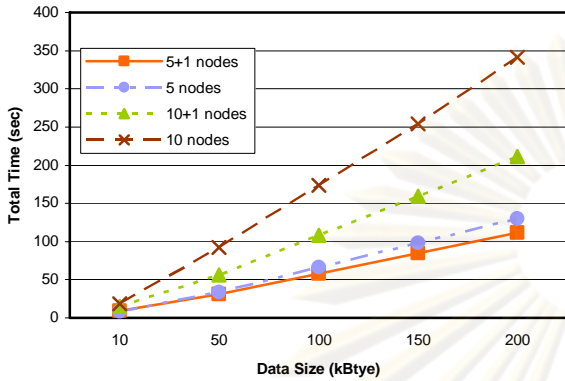
ขนาดกลุ่มข้อมูล (กิโลไบต์)	เวลาที่ใช้ (วินาที)		เวลาที่ใช้ (วินาที)	
	มีโนด	ไม่มีโนด	มีโนด	ไม่มีโนด
	ข้างถนน	ข้างถนน	ข้างถนน	ข้างถนน
5+1 โนด	5 โนด	10+1 โนด	10 โนด	
10	8.661	6.526	14.802	6.698
50	29.144	25.286	56.007	28.616
100	54.738	50.902	107.772	53.886
150	80.334	77.032	157.509	78.037
200	105.939	102.734	208.711	105.078

ตารางที่ 3 : อัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ

ขนาดกลุ่มข้อมูล (กิโลไบต์)	อัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ (%)		อัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ (%)	
	มีโนด	ไม่มีโนด	มีโนด	ไม่มีโนด
	ข้างถนน	ข้างถนน	ข้างถนน	ข้างถนน
5+1 โนด	5 โนด	10+1 โนด	10 โนด	
10	93.33	75.00	95.50	35.77
50	94.93	74.70	98.36	30.95
100	95.13	77.00	98.65	31.03
150	95.16	78.40	98.67	30.73
200	95.23	78.90	98.66	30.80

ผลการจำลองแสดงในตารางที่ 3 คือค่าของอัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จ คำนวณมาจากจำนวนแพ็กเก็ตของข้อมูลที่โนดปลายทางได้รับสำเร็จต่อปริมาณโหลดขอบริการที่โนดต้นทางตามขนาดกลุ่มข้อมูล 10, 50, 100, 150, 200 กิโลไบต์ ตามลำดับ โดยรวมของทั้งระบบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถวิเคราะห์ได้ว่าขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ใช้มีผลทำให้ค่าอัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าเวลาในการส่งกลุ่มข้อมูลขนาดเล็กนั้น ข้อมูลที่ส่งออกไปเกิดการชนกันก่อน ข้อมูลจึงถูกละทิ้งไป แต่เมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อข้อมูลที่ส่งออกไปเกิดการชนกันแล้ว ข้อมูลชุดต่อไปจะมีการสุ่มเวลาใหม่แล้วทำการส่งข้อมูลต่อไปอีกครั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนการส่งแพ็กเก็ตระหว่าง กรณีที่มีโนดข้างถนนมีอัตราการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสำเร็จมากกว่า 90 %ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีโนดข้างถนน เนื่องจากว่าในกรณีที่มีโนดข้างถนนนั้น มีการจัดการการส่งผ่านข้อมูล ไม่ได้เกิดการแย่งกันส่งผ่านข้อมูลเหมือนกับในกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนน ทำให้อัตราการส่งแพ็กเก็ต ข้อมูลสำเร็จเกิดขึ้นมากกว่า

เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลสำหรับกรณีที่มีโนดข้างถนน กับไม่มีโนดข้างถนนนั้น ให้เวลาที่มีค่ามากกว่า แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องของการใช้ระยะเวลาโดยรวมของระบบ เทียบกับขนาดของกลุ่มข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4 นั้น มีการคำนวณมาจากค่าเวลาที่ส่งผ่านข้อมูลจากตารางที่ 2 เทียบกับอัตราการส่งแพ็คเกจข้อมูลสำเร็จที่เกิดขึ้นจากตารางที่ 3 ของแต่ละกรณี



รูปที่ 4 : ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาโดยรวมกับขนาดของกลุ่มข้อมูล

ผลที่แสดงในรูปที่ 4 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ในกรณีที่มีโนดข้างถนนเข้ามาช่วยจัดการการส่งผ่านข้อมูลนั้น ทำให้มีเวลาโดยรวมของระบบในกรณีที่มี 5 โหนด เทียบกับกรณีที่มี 5+1 โหนด (รวมโนดข้างถนน) เวลาที่ใช้มีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก ซึ่งในกรณีที่มี 10 โหนด กับกรณีที่มี 10+1 โหนด (รวมโนดข้างถนน) เวลาที่ใช้มีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า

5. สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอโปรโตคอลการส่งผ่านข้อมูล โดยนำโนดข้างถนนมาใช้ในการส่งผ่านข้อมูลที่ได้จากการรายงานข้อมูลของยานพาหนะให้กับโนดข้างถนน ซึ่งโนดข้างถนนนั้นไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย ในการสร้างระบบจำลองได้ใช้โปรแกรม NS2 เพื่อประเมินระยะเวลาประวิงของขนาดกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบ เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีโนดข้างถนนและกรณีมีโนดข้างถนนตามโปรโตคอลที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองนั้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มโนดข้างถนนเข้ามาในระบบแล้ว ทำให้ระยะเวลาประวิง มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเทียบกับอัตราการส่งแพ็คเกจซึ่งมีค่าความสำเร็จสูงเกิน 90% นั้น ทำให้การใช้ระยะเวลาโดยรวมของระบบ เทียบกับขนาดของกลุ่มข้อมูลนั้น ได้ระยะเวลาโดยรวมของระบบมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่มีโนดข้างถนน

ระบบจำลองที่ได้เสนอในบทความนี้ มีการพิจารณาการส่งต่อข้อมูลใน 1 เซลล์ และยานพาหนะยังไม่มีเคลื่อนที่ที่ แผนงานในปัจจุบันที่กำลังดำเนินการพัฒนาต่อคือ กำหนดให้ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีแนวโน้มแบบเดียวกับที่เสนอในบทความนี้ อีกทั้งยังเพิ่มการพิจารณาการส่งต่อข้อมูลมากกว่า 1 เซลล์ โดยสร้างระบบจำลองให้มีสถานการณ์ใกล้เคียงกับระบบจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ai H. Ho, Yao H. Ho, and Kien A. Hua, "A Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Street Environment" Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2005), Nevada, USA, June 2005.
- [2] Ho Y.H., Ho A.H., Hua K.A., and Tai Do, Adapting Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Obstacle Environment. Proc. of IEEE Wireless pervasive Computing, 2006 1st International Symposium, Jan 2006.
- [3] B. Xu, and O. Wolfson, "Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad-hoc Networks", Proc. Of 2004 IEEE Int'l Conf. on Mobile Data Management (MDM 2004), Jan. 2004.
- [4] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, and C. Liao, "Traffic view: A Scalable Traffic Monitoring System", Proc. of 2004 IEEE Int'l Conf. on Mobile Data Management (MDM 2004), Jan. 2004.
- [5] Ministry of Land Infrastructure and Transport: "The system outline of VICS," Available from: <http://www.its.go.jp/etcvics/vics/>
- [6] N. Shibata, T. Terauchi, T. Kitani, K. Yasumoto, M.Ito and T. Higashino "A Method for Sharing Traffic Jam Information using Inter-Vehicle Communication" Int'l Conf. on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2006.
- [7] Y. Ding, C. Wang, and L. Xiao, "A Static-Node Assisted Adaptive Routing Protocol in Vehicular Networks", in Proc. Vehicular Ad Hoc Networks, 2007.
- [8] J. Zhao, Y. Zhang, and G. Cao, "Data Pouring and Buffering on The Road: A New Data Dissemination Paradigm for Vehicular Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007.
- [9] "NS2 Network Simulator," Available from: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

Data Dissemination protocol for Vehicular Ad Hoc Networks by Utilizing Distributed Roadside Traffic Information Processing Nodes

Sasirom Tiennoy and Chaiyachet Saivichit
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
sasirom@gmail.com and chaiyachet.s@chula.ac.th

Abstract—Inter-vehicular communications are now becoming an interesting area of wireless network research. In road network where road information is exchanged among cars, all traffic information must be accurately measured, processed and disseminated to all car users in a timely manner. This paper proposes a new inter-vehicular communication protocols for data dissemination on road networks. A new type of node named *roadside unit* is introduced to help distributing traffic related information in which the roadside unit acts as a relay node. In order to verify the performance of the proposed protocol, this work used the network simulator (NS2) software to model and test different road network scenarios. Simulation results shows that total transmission period can be reduced when using the proposed inter-vehicular communication protocol.

I. INTRODUCTION

In the recent years, Mobile Ad Hoc has attracted high attention in the research community. Although the benefit from the wide deployment of MANETs is immense, there are very few application scenarios where the wide deployment of MANETs is predictable in the near future (e.g. military application, natural disaster). One exception is networks of the interconnected vehicles on the road called Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). VANETs communication has been recently becoming a popular research topic in the area of wireless networking as well as the automotive industries as they could potentially provide the drivers with many services including location based applications, providing information concerning localized real-time traffic conditions, parking information, vehicle to vehicle chats, etc. As the internet traffic demands become a part of our daily lives, VANETs can be used to provide the passengers with the ability to surf the web, browse mobile advertisements, even play games with friends in other vehicles, etc. The goal of VANET research is to develop a vehicular communication system in order to enable quick and cost efficient distribution of data for the benefit of passengers' safety and comfort.

VANETs compose of the interconnected car networks including the road side unit which are placed near the roadside. In many developed countries, road traffic information can be collected and processed by using inter vehicular communication systems (IVCS). Examples of applications and implementations of IVCS are clearly presented in FleetNet,

CarNet, and VICS [1]-[3].

Since March 1990, Japan has launched the Vehicle Information and Communication System (VICS) which is one of IVCS. VICS is a service using FM broadcast and optical beacons on the roadside to deliver traffic jam information to drivers so that their car navigation systems can display congested areas/roads on the map and then navigate them to avoid congested areas. Although VICS is useful for traffic information processing due to its centralized data-collection scheme, its lack of timely disseminated information penalize its real implementation. This is because VICS collects all traffic jam information from all sensors to one place (e.g. a central server) and disseminate it after processing. This scheme causes high delay from the process of both gathering /disseminates information between the road sensors and the central server. The traffic information dissemination methods become a major problem when using VANETs for road network communications.

From the literatures on the development of information dissemination methods in VANETs, [4] develop a mathematical model to capture the nature of VANETs traffic information sharing. They propose an opportunistic dissemination scheme which periodically broadcasts traffic information to all vehicles in the vicinity of the transmitter. The data will be received and stored by the nearby vehicles where exchanging of traffic information among the vehicles occurs. This scheme does not rely on any infrastructure, and hence suitable for highly dynamic VANETs. However, one disadvantage of VANETs is that it is hard to remove the outdated information, especially when the process is updated frequently. Moreover, in the highly dense traffic condition, the data dissemination method becomes inefficient due to the fact that channel resources are limited and competition among vehicles for the available channel is very high. To overcome this drawback, [5] proposes a new data dissemination paradigm for VANETs by using the data buffer/generator at the intersection. By using this method, the data delivery ratio can significantly be improved and the network traffic congestion can be efficiently alleviated. However, as the data has to be managed and processed through the server and then directed back to the disseminator at the intersection, the traffic delay will be increased and may cause

the server to be the bottleneck since it has to process all traffic information by itself.

In this paper, a new inter-vehicular communication protocols for data dissemination on road networks is proposed. A new type of node named *roadside unit* is introduced to help distributing traffic related information in which the roadside unit acts as a relay node. In order to verify the performance of the proposed protocol, this work used the network simulator (NS2) software [6] to model and test different road network scenarios. Simulation results shows that total network delay can be reduced by using the proposed inter-vehicular communication protocol.

The paper is organized as follows; Section II, propose a model used to implement road side units for data dissemination. In Section III, describes the simulation model and result. Finally, Section IV shows conclusions of the proposed method.

II. PROPOSED MODEL

The protocol uses nodes at roadside called *road side unit*, e.g. a police booth, bus stop or a telephone booth, to send data in Vehicular Ad hoc Network. The road side unit does not directly connect to the data center or data collection and processing center, but it connects to other road side units as well as wireless ad hoc nodes. These characteristics of roadside unit are the same as the vehicle characteristics added in network.

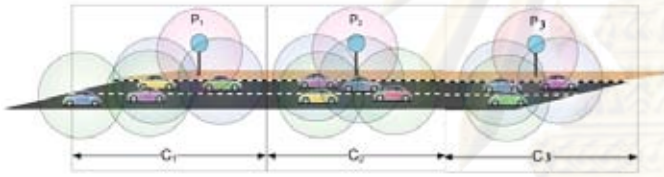


Fig. 1. data dissemination model

System and Notations

- Road is divided into small cells denotes as $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ where C is cell and n is number of cell. It is divided by roadside unit that have each part of road.
- Let the area that collect and disseminate data for cell n be denoted as P_n , hence the $1, 2, 3, \dots, n$ can be written as $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$.
- Vehicles must know a location of co - ordinates which resides in $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$. When vehicles move into the cell and received information request packet from roadside unit, the vehicles must report their moving velocity, direction and location back to the roadside unit.
- The protocol starts to collect data from roadside unit. It is polling every vehicle that control by cell and waiting delay time. When vehicle receive polling message it will reply with the data. If there are many vehicles in each cell - some vehicles that far from roadside unit will reply data to the next vehicles that near them in a piggy back

pattern (Data $V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$). Each vehicle sets random time and starts to count down simultaneously. The information is then sent to roadside unit nodes. The first vehicle that finish time will wait for data from other vehicles at the latest time. As show in (1).

$$T(P) = t(1 - P) \quad (1)$$

where T is the maximum delay time, P is the time from roadside unit.

- When vehicles needs to enquire data - they will request information from roadside unit.

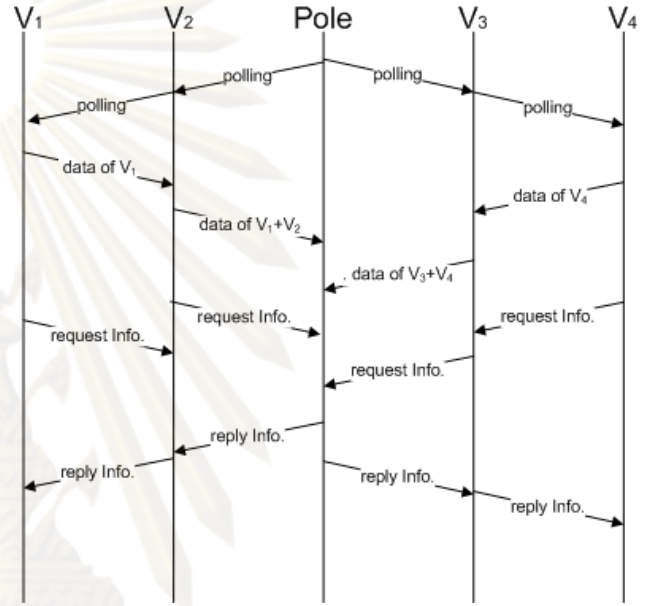


Fig. 2. Roadside unit communicate with vehicles protocol

The protocol shown in Fig.2 has 3 steps

- Step 1: Roadside unit requests data from every vehicle in its own cell.
- Step 2: When vehicles receive polling messages from roadside unit, they report data to the roadside unit.
- Step 3: Whenever vehicle wants to obtain information from roadside unit (process data to information), it requests information to roadside unit then roadside unit will reply information to vehicle.

III. SIMULATION RESULT

In this section, the simulation is done for estimating the total network delay used in data dissemination. The direction of this simulation is then divided into three scenarios. In the first scenario, the comparison between "5 vehicles with roadside unit" and "5 vehicles without roadside unit" is tested. In scenario 2, "10 vehicles with roadside unit" is compared to without roadside unit case. Then, "5 vehicles with roadside unit" and "10 vehicles with roadside unit" are compared to each other.

The performance of the protocols is measured by the following three metrics:

- Data delivery ratio: the ratio of the number of data packets that successfully arrive at their final destination and the offered load.
- Network traffic load: the number of bits generated per second, which is based on an assumption of individual packet hops. For instance, if a packet of 1024 bits is forwarded 10 times, the network traffic load is counted as 10K bit.
- Total end-to-end delay: the total end-to-end delay of all packets which reach the destination.

A. Scenario

The focus of this paper is on techniques for information dissemination, not on details of the physical or link layer. Therefore, the link layer used for the performance evaluation is a standard IEEE 802.11 system with a data rate of 1Mbit/s. It has to be noted that the proposed methods do not require a specific wireless transmission technology. IEEE 802.11 was chosen for the simulations since it is well known and similar to DSRC [7]. However, IEEE 802.11 is known to have severe limitations. An air interface specifically developed for the vehicular environment will usually result in a better performance, i.e., IEEE 802.11 can be regarded as a worst-case scenario.

The usual ns-2 two-way ground propagation model is used and packet collisions are detected. All packets are transmitted as broadcast. The transmit frequency is set to 2.472 GHz and transmit power is 15 dBm. The receive threshold is adapted in order to achieve a communication range of 1000 m, since this is the expected range of air interfaces developed for inter-vehicle, e.g., DSRC or UMTS Terrestrial Radio Access Time-Division Duplex Ad Hoc (UTRA TDD Ad Hoc)[8]. Omnidirectional antennas at a height of 1.5 m are assumed.

First, consider a simple scenario of 1 cell as shown in Fig. 3, 4, 5 and 6. In case of no roadside unit in the cell, every vehicle has to communicate directly to the rest. On the other hand, if the cell is implanted with a roadside unit, each vehicle will communicate with roadside unit based on the proposed protocol.



Fig. 3. five vehicles and one roadside unit



Fig. 4. five vehicles

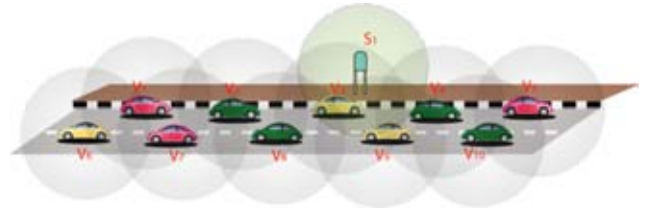


Fig. 5. ten vehicles and one roadside unit

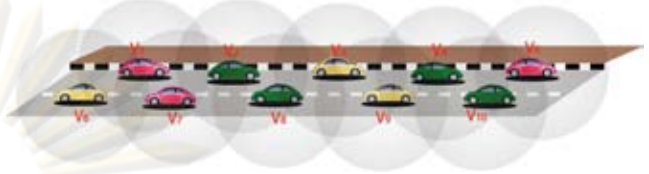


Fig. 6. ten vehicles

B. Result

The parameters used in this simulation are shown in Table I. Table II and III provide the total end-to-end delay and data delivery ratio of this scenario.

TABLE I
SIMULATION SETUP

Parameter	Value
Traffic type	Constant Bit Rate (CBR)
Packet size(byte)	1024
Total of packet size (KB)	10,50,100,150,200
Transmission range(m)	200
Routing protocol	AODV
Mac protocol	IEEE802.11

TABLE II
THE TOTAL END-TO-END DELAY

Total of packet size(KB)	Time(s)			
	5+1 nodes	5 nodes	10+1 nodes	10 nodes
10	8.661	6.526	14.802	6.698
50	29.144	25.286	56.007	28.616
100	54.738	50.902	107.772	53.886
150	80.334	77.032	157.509	78.037
200	105.939	102.734	208.711	105.078

From Table II, we found that when the size of the data increased from 10 to 200, the time used for disseminating that data also increased. With roadside unit implemented, the dissemination time would be higher than the case that is without roadside unit.

From Table III, the size of data packet can affect the data delivery ratio. While the size of data packet is increasing, the successive in transmitting will rise. This is because small size of data packet will collide with the other, But if the size of data packet is large, the next set of data will random the time for sending again.

In case, addition of roadside unit in the network can increase total end-to-end delay. However, the transmission of data using the roadside unit has data delivery ratio higher than

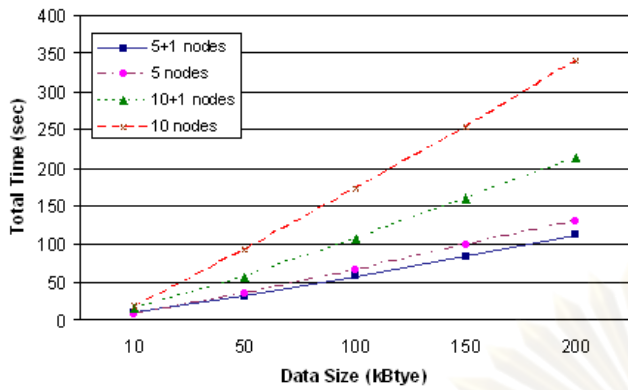


Fig. 7. Total transmission period

transmission of data without roadside unit (approximately 90% of total number of packets).

From Fig. 4, we observe that when addition of roadside unit in the network can help reduce the total transmission period needed in order to send data totally. There is the calculation from end-to-end delay (Table II) compared with data delivery ratio (Table III).

TABLE III
DATA DELIVERY RATIO

Total of packet size(KB)	Recieved ratio(%)			
	5+1 nodes	5 nodes	10+1 nodes	10 nodes
10	93.33	75.00	95.50	35.77
50	94.93	74.70	98.36	30.95
100	95.13	77.00	98.65	31.03
150	95.16	78.40	98.67	30.73
200	95.23	78.90	98.66	30.80

IV. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

In this paper, a new inter-vehicular communication protocols for data dissemination on road networks is proposed. A new type of node named *roadside unit* is introduced to help distributing traffic related information in which the roadside unit acts as a relay node. Simulation results show that addition of roadside unit in the network can increase total end-to-end delay. However, the transmission of data using the roadside unit has data delivery ratio higher than transmission of data without roadside unit (approximately 90% of total number of packets). Therefore, the roadside unit can help reduce the total transmission period needed to send data in total.

The model presented to this work is restricted to the case where there is only 1 cell and vehicle is assumed to be stationary. Future work will cover a mobility issue in road network where vehicles move freely. Moreover, data transmission to multiple cells will also be considered using the simulation which resembles the characteristics of the real road networks.

V. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by a grant the fund from Commission on Higher Education and Electrical Engineering,

Burapha University and AUN/SEED-Net fund of Electrical Engineering, Chulalongkorn University. The authors wish to thank the anonymous peer reviewers, whose careful reading and insightful suggestions have improved the quality of this work dramatically.

REFERENCES

- [1] Franz W., Eberhardt R., Luckenbach T., FleetNet - Internet on the Road, in *Conference Proceedings ITS 2001, 8th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Sydney, Australia*, Oct. 2001.
- [2] Shinsaku Yamada. The Strategy and Deployment Plan for VICS, in *IEEE Communications, Vol. 34, No. 10*, 1996, pp.94-97.
- [3] Robert Morris, John Jannotti, Frans Kaashoek, Jinyang Li, Douglas Decouto, CarNet: A Scalable Ad Hoc Wireless Network System, in *proceedings of the 9th ACM SIGOPS European Workshop*, Sep. 2000.
- [4] B. Xu, A. Ouksel, and O. Wolfson, Opportunistic Resource Exchange in Inter-vehicle Ad Hoc Networks, in *IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, 2004.
- [5] J. Zhao, Y. Zhang, and G. Cao, Data Pouring and Buffering on The Road: A New Data Dissemination Paradigm for Vehicular Ad Hoc Networks, in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2007.
- [6] Ai H. Ho, Yao H. Ho, and Kien A. Hua, A Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Street Environment, in *Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2005), Nevada, USA*, June 2005.
- [7] J.Zhu and S.Roy, MAC for dedicated short range communication in intelligent transport system, in *IEEE Commun. Mag., vol.41, no.12*, Dec. 2003, pp.60-67.
- [8] A.Ebner, H.Rohling, L.Wischhof, M.Lott, and R.Halfmann, Performance of UTRA TDD ad hoc and IEEE802.11b in vehicular environments, in *IEEE Semiannual Vehicular Technology Conf., Jeju, Korea*, Apr. 2003.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศศิธรมย์ เทียนน้อย เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดนครนายก เป็นบุตรของนาย เอก และนางศิริพิน เทียนน้อย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยบูรพา เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรม ศาตรมหาบัณฑิต ในปีการศึกษาถัดมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม โดยได้รับทุนอุดหนุนการศึกษาจากAUN-Seednet



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย